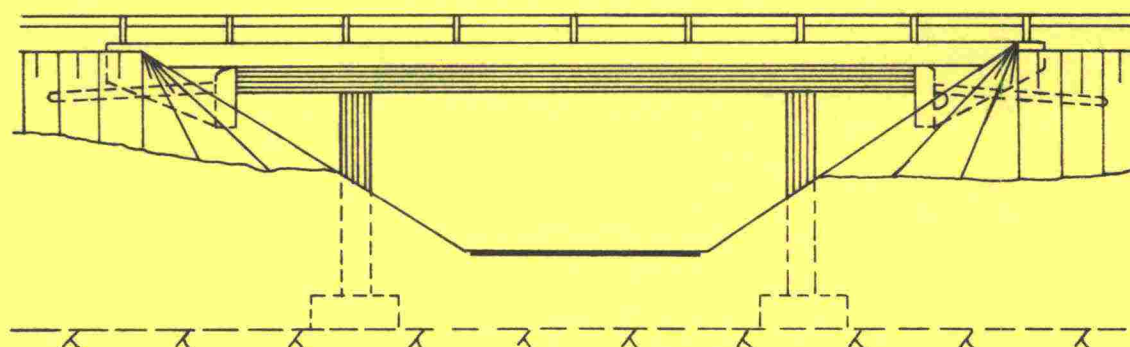


SVO SILLANRAKENNUSTÖIDEN VALVONTAOHJE

3500 PAIKALLA VALETUT BETORAKENTEET



08
TIE-



84 0081

SILLANRAKENNUSTÖIDEN VALVONTAOHJE
3500: PAIKALLA VALETUT BETONIRAKENTEET

TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS
SILLANRAKENNUSTOIMISTO
Helsinki 1983

ISBN 951-46-5671-7

SILLANRAKENNUSTÖIDEN VALVONTAOHJE

3500: PAIKALLA VALETUT BETONIRAKENTEET

SISÄLLYSLUETTELO

Sivu

1.	YLEISTÄ	
1.1	Sovel tam i s a l u e	1
1.2	K ä s i t t e i d e n m ä ä r i t t e l y	1
1.5	B e t o n i t ö i d e n j o h t a m i n e n	1
1.6	V a l v o j a	2
1.7	L a a t u v a a t i m u k s e t	2
1.72	Pintojen laatuvaatimukset	2
1.74	Raudoituksen betonipeite	2
2.	TELINE- JA MUOTTITYÖT	3
2.1	S u u n n i t e l m a t	3
2.2	M a t e r i a a l i t	3
2.3	T y ö n s u o r i t u s	4
2.4	T a r k a s t u k s e t	4
3.	RAUDOITUSTYÖT	5
3.1	M a t e r i a a l i t	5
3.2	T y ö n s u o r i t u s	6
3.21	Raudoitustöiden suunnittelu	6
3.22	Terästen varastointi ja puhdistus	6
3.23	Raudoituksen asema	6
3.24	Raudoituksen valmistus ja asennus	7
3.25	Hitsaustyöt	8
3.26	Tartuntojen kiinnittäminen	8
3.3	L a a d u n v a l v o n t a	9
3.4	K e l p o i s u u d e n t o t e a m i n e n	10

4.	JÄNNITTÄMISTYÖT	10
4.1	M a t e r i a a l i t	10
4.2	T y ö n s u o r i t u s	11
4.21	Jännittämistöiden suunnitelma	11
4.22	Jänteiden asema ja jännevoima	12
4.23	Jänteiden varastointi ja asennus	13
4.24	Jännittäminen	14
4.25	Injektointi	15
4.3	K o r j a u s- j a v i i m e i s t e l y t y ö t	16
4.4	L a a d u n v a l v o n t a	16
4.5	K e l p o i s u u d e n t o t e a m i n e n	18
5.	BETONITYÖT	18
5.1	M a t e r i a a l i t	18
5.2	T y ö n s u o r i t u s	19
5.21	Betonityösuunnitelma	19
5.22	Betonimassan valmistus ja kuljetus	19
5.23	Betonointi	20
5.24	Vedenalainen betonointi	21
5.25	Betonointi kylmänä vuodenaikana	22
5.26	Betonin lämpötilamuutosten ja -erojen vaikutukset	23
5.27	Työsaumat	26
5.28	Pintojen käsittely ja jälkihoito	27
5.3	K o r j a u s- j a v i i m e i s t e l y t y ö t	27
5.4	L a a d u n v a l v o n t a	28
5.5	K e l p o i s u u d e n t o t e a m i n e n	29
6.	RAKENNEOSAKOHTAISET MÄÄRÄYKSET JA OHJEET	31
6.1	P e r u s l a a t a t	31
6.11	Yleistä	31
6.12	Mittatarkkuus	32
6.13	Teline- ja muottityöt	32
6.14	Raudoitustyöt	32
6.15	Betonointi	33

6.2	P ä ä t e- j a v ä l i t u e t	33
6.21	Mitta- ja muototarkkuus	33
6.22	Teline- ja muottityöt	33
6.23	Raudoitustyöt	33
6.24	Betonointi kuivatyönä	34
6.25	Betonipintojen verhous	34
6.251	Tavallinen kiviverhous	34
6.252	Sileä kiviverhous	34
6.253	Teräslevyverhous	34
6.26	Betonipintojen kosteuseristys	34
6.3	P ä ä l l y s r a k e n t e e t	35
6.31	Yleistä	35
6.32	Mitta- ja muototarkkuus	35
6.33	Teline- ja muottityöt	36
6.34	Raudoitustyöt	36
6.35	Betonointi	37
7.	LÄHDELUETTELO	38
8.	KIRJALLISUUSLUETTELO	38

LIITE: Jännittämistöiden suunnitelma

PAIKALLA VALETUT BETONIRAKENTEET

VALVONTAOHJE

1. YLEISTÄ

1.1 Soveltamisalue

Tämä valvontaohje liittyy sillanrakennustöiden yleisen työselityksen kohtaan 3500: Paikalla valetut betonirakenteet. Ohjeen sisältö noudattaa SYT 3500:n mukaista järjestystä ja numerointia. Tekstissä on korostettu niitä seikkoja, joihin valvojan tulee kiinnittää huomiota. Kohdissa 2.4, 3.3, 4.4 ja 5.4 on muistilistan muodossa esitetty tärkeimmät valvottavat asiat. Lisäksi eräissä kohdissa on annettu myös määräysten taustatietoa ja kokemuseräisiä käytännön ohjeita.

Ohje on laadittu lähinnä urakatöiden valvojia varten, mutta sitä voidaan soveltaen noudattaa myös valvottaessa omassa johdossa toteutettavia töitä.

Sellaisia valvojan tehtäviä, jotka urakalla rakennettaessa liittyvät urakan juridisiin ja taloudellisiin kysymyksiin, ei käsitellä tässä ohjeessa.

1.2 Käsitteiden määrittely

Valvontaohjeessa käytetään samoja käsitteitä ja määritelmiä kuin työselityksessä.

1.5 Betonitöiden johtaminen

On erityisesti huomattava, että betonityönjohtajan vastuualueeseen kuuluvat varsinaisen betonoinnin lisäksi myös kaikki siihen liittyvät työt kuten esim. teline-, muotti-, raudoitus- ja mahdolliset jännittämis- sekä injektointityöt.

1.6 Valvoja

Betonitöiden valvojalla tulisi olla työn luokan edellyttämä pätevyys. Hänen tulee olla mukana betonointia edeltävissä tarkastuksissa esim. telineiden, muottien ja raudoitusten tarkastuksissa sekä ainakin betonointia aloitettaessa ja lopetettaessa.

1.7 Laatuvaatimukset

1.72 Pintojen laatuvaatimukset

Valvojan tulee perehtyä betonipinnan laatutekijöiden mittaamiseen ja hankkia siinä tarvittavat apuvälineet. Tarkempia ohjeita on esitetty julkaisussa "Betonipintojen luokitusohjeet (by 13)". Jo muottien tarkastuksessa tulee kiinnittää huomiota näihin seikkoihin ja pyrkiä ennakolta korjauttamaan sellaiset virheet, jotka ilman muuta johtavat aliarvoiseen pinnan laatuun. Ensimmäiseksi betonoitujen rakenneosien pinnat on tarkastettava heti muottien purkamisen jälkeen ja mikäli pinnan laatu ei täytä asetettuja vaatimuksia, on valvojan huolehdittava, että työsuunnitelmaa muutetaan siten, että asetetut vaatimukset täyttyvät.

Halkeaman leveys voidaan mitata asteikolla varustetulla lupilla, rakotulkeilla tai eri vahvuisilla teräslangan pätkillä. Teräslangalla on myös mahdollista saada jonkinlainen käsitys halkeaman syvyydestä.

1.74 Raudoituksen betonipeite

Betonin emäksisyys passivoi raudoituksen ja siten estää sen ruostumista. Betonin karbonatisoituminen, jolloin betonin emäksisyys laskee, tapahtuu nopeimmin juuri niissä olosuhteissa, joihin siltarakenteet joutuvat. Tämän vuoksi betonipeitteen tiiveys ja oikea paksuus ovat rakenteen kannalta ensiarvoisen tärkeitä.

Mikäli toimivan raudoituksen betonipeitteelle on suunnitelmassa annettu arvoksi 30 mm, voidaan työteräksinä käyttää korkeintaan 10-12 mm:n harjateräksiä, jotta työteräksille esitetty betonipeitteen pienin vahvuus

20 mm saavutettaisiin. Välikkeitä valittaessa on otettava vielä huomioon työteräksen taipuma ja välikkeen painuma muottiin. Raudoituksen ja jätteiden sijainnille on annettu lisäksi rakenteen paksuudesta riippuvat mittatarkkuusvaatimukset SYT:n kohdissa 3.23 ja 4.22.

2. TELINE- JA MUOTTITYÖT

2.1 S u u n n i t e l m a t

Valvojan tulee tarkastaa rakentajan laatimat teline- ja muottisuunnitelmat. Tämän vuoksi hänen tulee hyvin perehtyä julkaisuun "Tukitelineohjeet (RIL 147)", jossa on annettu seikkaperäisiä ohjeita sekä telineiden mitoituksessa käytettävistä kuormista että telinesuunnitelman sisällöstä. Pienissä kohteissa voidaan luopua erillisen telineteitä koskevan työselityksen tekemisestä ja esittää tätä koskevat asiat piirustuksissa. Esivalmisteisia telineitä käytettäessä tulee valvojalla olla kyseisen telinesysteemin käyttöseloste. Tarvittaessa valvojan tulee käyttää suunnitelmien tarkastamisessa apunaan asiantuntijoita.

Jos telineitä tuetaan vanhojen tai aikaisemmin betonoitujen rakenteiden varaan, tulee valvojan varmistua siitä, että nämä rakenteet pystyvät ottamaan telineistöstä tulevat kuormat.

Telineiden ennakkokohotuksia arvioitaessa tulee valvojan kiinnittää huomiota mm. siihen, että puutelineissä tapahtuu yleensä 2-3 mm:n kokoonpuristuma jokaisessa puristetussa saumassa. Terästelineessä vastaava arvo on 1-2 mm. Odotettavissa oleva maapohjan painuma, varsinkin epätasainen, on otettava ennalta huomioon.

2.2 M a t e r i a a l i t

Mikäli muottimateriaalina käytetään suurehkoja vaneri-, teräs- tai lujitemuovielementtejä, tulee muottisuunnitelmissa kiinnittää huomiota betonipintojen säännölliseen kuviointiin ja saumojen tiiveyteen.

Jos näkyviin jäävissä pinnoissa käytetään muottisiteinä muoviputken sisään asennettuja teräspultteja, on muottisiteet sijoitettava säännöllisesti.

Näkyviin jäävissä pinnoissa tulee kiinnittää huomiota myös siihen, että muottipinta tehdään tasalaatuisesta materiaalista, jotta erilainen vedenimukyky ei aiheuttaisi betonipinnan värin epätasaisuutta.

2.3 T y ö n s u o r i t u s

Perusmaan huolellinen tiivistäminen ja luiskien oikea kaltevuus telineistön alla on varmistettava. Telineiden jäykistämiseen sekä kuormien keskeiseen siirtoon niskoilta pystyrakenteille ja edelleen alusrakenteille tulee kiinnittää erityistä huomiota. Kaltevassa asennossa olevien niskojen ja tukien alle on laitettava kiilat tai keskitettävä kuormat muulla tavalla. Tukipintojen riittävyys tulee tarkistaa.

Kuormien keskeisyys on tärkeää myös tukitorneja käytettäessä, sillä toiselta reunalta kuormitetun tukitornin sallittu kuormitus on vain n. 1/3 keskeisesti kuormitetun arvosta.

Lautamuotteja tehtäessä on lautojen väliin jätettävä riittävä rako kastelun aiheuttaman turpoamisen varalle siten, että kuivalla laudalla rako on materiaalin kosteustilasta riippuen 1-3 % laudan leveydestä.

Jännitettyjen siltojen ollessa kyseessä on muistettava, että tukitelineitä voidaan purkaa aikaisintaan jännittämisen yhteydessä. Jännitetty rakenne ei yleensä jännittämättä kestä edes oman painonsa aiheuttamaa rasitusta.

2.4 T a r k a s t u k s e t

Valvojan tulee huolehtia siitä, että telineille suoritetaan sekä perustus- että käyttöönottotarkastus. Valvojan tulee olla läsnä tarkastuksissa.

Perustustarkastuksessa on kiinnitettävä huomiota mm. seuraaviin asioihin:

- Hyväksytyt perustussuunnitelman toteutuminen (mm. paalutus-pöytäkirjan tarkastus)
- Maapohjan tai täytteen tiiviys, homogeenisuus ja lujuus
- Telineen tukemiseen käytettävien valmiiden rakenteiden kelvollisuus

- Luiskien kaltevuus
- Telineperustuksen liukumisen estäminen varsinkin kaltevissa tukipinnoissa
- Perustuksen kuivanapito
- Perustuksen routimishaittojen ehkäiseminen
- Telineperustusten vaikutus muihin rakenteisiin.

Käyttöönottotarkastus tehdään välittömästi ennen telineen kuormittamista ja siinä on kiinnitettävä huomiota mm. seuraaviin asioihin:

- Hyväksytyn telinesuunnitelman ja käyttöselosteen ohjeiden toteutuminen
- Perustukset niiltä osin, kuin ne ovat voineet muuttua perustustarkastuksen jälkeen
- Telineen tukemiseen käytettävien valmiiden rakenneosien lujuus
- Telineen sijainti, korkeusasema sekä korkeuden säätölaitteet
- Telinemateriaalin kelvollisuus
- Pystytukirakenteet (määrä, sijainti, asento ja rakenne)
- Telineen jäykistys ja tuenta
- Kuormien keskeisyys ja tukipinnat
- Liitoksien sijainti, lujuus ja keskeisyys
- Telineen purkamismahdollisuus
- Telineen käytön turvallisuuteen vaikuttavat seikat, kuten kulkutiet, nousutiet, kaiteet, rajoituskilvet sekä telineen läheisyydessä tapahtuvan liikenteen ohjaus.

3. RAUDOITUSTYÖT

3.1 M a t e r i a a l i t

Suomalaiset harjateräkset kuuluvat laadunvalvontasopimuksen piiriin, joten niistä ei tarvitse tehdä työmaakohtaisia kelpoisuuskokeita. Suomalalaisten harjaterästen valssausmerkinnät, joista valmistaja voidaan tunnistaa, on esitetty mm. RT-kortiston säännöstiedoston ajoittain uudistettavassa kortissa, julkaisuhetkellä oli voimassa SM-20474, pvm. 8.12.1982. Hitsattavissa tangoissa on tangon molemmilla sivuilla kolme

peräkkäistä harjaa merkitty joko poikkimenevällä lisäharjalla tai harjan keskellä olevalla nastalla. Punaista värimerkintää tankojen päissä ei enää käytetä hitsattavuuden merkinä. Tankojen päissä esiintyvä sininen värimerkintä on vajaalaatuisen tuotteen tunnus. Tällaista terästä ei saa käyttää rakenteissa ilman erillistä selvitystä.

3.2 Työnsuoritus

3.21 Raudoitustöiden suunnittelu

Ylipitkien terästen tarve on tarkistettava heti työn alussa ja ne on tilattava riittävän ajoissa. Jos ylipitkät teräkset muutetaan jatkettaviksi, on siitä tehtävä suunnitelman muutos.

Valvojan tulee tarkastaa, että raudoituksen tuenta on suunniteltu SYT:n kohdassa 3.24 esitettyjä vaatimuksia ja ohjeita vastaavaksi. Erityistä huomiota on kiinnitettävä riittävään välikkeiden määrään ja työterästen sekä yläpinnan raudoitusta tukevien pukkien jakoon.

3.22 Terästen varastointi ja puhdistus

Oikein ajoitetulla terästen hankinnalla ja asennuksella voidaan merkittävästi vähentää raudoituksen ruostumista. Mikäli teräksen pinnalla esiintyy syöpyimiä tai on muuten erityistä syytä epäillä terästen kelpoisuutta, otetaan teräksistä näytteet ohjeiden B4 kohdan 6.4.1 mukaisesti.

3.23 Raudoituksen asema

Raudoituksen tehollisen korkeuden muutoksella on yleensä huomattavasti suurempi merkitys rakenteen kapasiteetille kuin esim. teräksen tai betonin lujuuden alituksella. Valvojan on raudoituksia tarkastaessaan lisäksi kiinnitettävä huomiota siihen, että kaikkia betonipeitteen paksuudelle annettuja mittatoleransseja noudatetaan ja että teräsjaako on suunnitelman mukainen.

Betonoinnin aikana on lisäksi tarkkailtava, etteivät raudoitukset siirry paikoiltaan.

3.24 Raudoituksen valmistus ja asennus

Ohjeiden B4 mukaan tulee betoniterästankojen sisäpuolisen taivutus-
säteen olla yleensä pääraudoituksella 10ϕ ja hakaraudoituksella 5ϕ ,
kun $\phi > 12 \text{ mm}$ ja 3ϕ , kun $\phi \leq 12 \text{ mm}$. Tangot pyrkivät oikeenmaan
taivutuksen jälkeen, joten työn alussa on syytä kokeellisesti valita
sopiva taivutustela.

Välikkeitä valittaessa on kiinnitettävä huomiota siihen, että niiden
alapuoliset alueet tulevat luotettavasti täyteen betonia. Nelijalkai-
sella välikkeellä, jonka jalan vahvuus on $\phi 8 \text{ mm}$, on tukipinta 200 mm^2 .
Kun jalan vahvuus on $\phi 10 \text{ mm}$, on tukipinta 300 mm^2 . Työterästen jaon
tulee olla niin tiheä, että tuettavat teräkset eivät taivu liikaa sekä
raudoituksen sijainti että betonipeite huomioonottaen. Työteräkset on
puolestaan tuettava välikkeillä niin tiheästi, että ne eivät itse taivu
haitallisesti. On myös varmistettava, että välikkeitä on riittävästi
työterästen alla, jotteivat ne murru tai painu haitallisesti muotti-
laudoitukseen.

Mikäli välikkeitä kiinnitetään muottirakenteisiin, on käytettävä
alumiininauloja. Talvitöissä tulee kiinnittää huomiota siihen, että
käytettävät välikkeet kestävät sekä höyrytystä että lämmitystä.

Siltojen päällysrakenteet ovat melkein poikkeuksetta aina 1-luokan ra-
kenteita, joten niissä on yläpinnan raudoitus tuettava joko hitsattujen
pukkien tai betonikartioiden varaan. Erityistä huomiota tulee valvojan
kiinnittää siihen, että näiden erillisten tukien alla on riittävästi
välikkeitä, jotka pystyvät siirtämään sekä yläpinnan raudoituksen
painon että betonoinnin aikaiset kuormat muotille. Yläpinnan raudoi-
tuksen paino on suuri varsinkin tukialueilla ja siten siellä yleensä
esiintyy tukiterästen ja välikkeiden alimitoitusta. Itse välikkeiden
soveltuvuutta arvioitaessa on huomattava, että välikkeelle tulee sen
kosketuspinnasta riippuen 100-150 kg:n kuormia. Täten on sellaiset
välikkeet, jotka eivät kestä edes valvojan (90 kg) painoa, ilman muuta
hylättävä. SYT:ssa annettuja tukivälien ohjeellisia arvoja ei tulisi
ylittää, useimmiten joudutaan raudoituksen painosta johtuen käyttämään
huomattavasti pienempiä tukivälejä.

Pääsääntöisesti on kaikki raudoitteet sidottava paikoilleen ennen betonointia, tämä koskee myös tartuntoja. Raudoitusta asennettaessa tulee varmistua siitä, että betonointi voidaan myöhemmin suorittaa kunnollisesti. Käyttämällä sitomiseen sinkittyjä teräslankoja tai tarkoitukseen kehitettyjä liittimiä vältetään rakenteen pinnassa myöhemmin esiintyvät ruosteläiskät. Tavalliset sidelangat on taivutettava huolellisesti sisäänpäin.

3.25 Hitsaustyöt

On huomattava, että hitsausta saadaan käyttää vain, jos se on esitetty suunnitelmassa. Ohjeiden B4 kohdassa 6.4.2 on annettu seikkaperäiset ohjeet sekä rakennuspaikalla tehtävistä alustavista taivutuskokeista että niiden jälkeen hyväksytyssä koetuslaitoksessa tehtävistä kelpoisuuskokeista. Näiden lisäksi on työn kuluessa testattava hyväksytyssä koetuslaitoksessa valmiiksi jatketuista tangoista leikattuja koekappaleita sekä taivutuskokein että vetokokein.

3.26 Tartuntojen kiinnittäminen

Varsinkin rikkonaisessa kallioperässä on luotettavasti varmistettava, että kallioon porattu reikä on vesitiivis eikä injektointilaasti pääse valumaan reiästä pois. Syvissä rei'issä saattaa laastissa tapahtuva vedenerottuminen muodostua haitalliseksi reiän yläosassa. Tämän vuoksi olisi työn alussa syytä tehdä pari koeinjektointia veden erottumisen tarkkailemiseksi. Laittamalla reiän suuhun täytön yhteydessä kallio-pinnan yläpuolelle ulottuva suppilo, joka täytetään injektoinnin yhteydessä osittain laastilla, on mahdollista saada erottunut vesi nousemaan tähän suppiloon. Täten voidaan varmistaa, että itse kalliossa oleva reikä on täynnä moitteetonta laastia.

Asentamisen jälkeen on tartunnat kiinnitettävä paikoilleen siten, että ne eivät pääse liikkumaan kovettumisen aikana. Laastin tulee olla myös riittävästi kovettunut ennenkuin kyseisessä kohdassa siirrytään seuraaviin työvaiheisiin, joissa tartuntoja voitaisiin vahingoittaa.

Ylöspäin suunnatuista tartunnoista samoin kuin vedenalaisista tartunnoista tehtyjä suunnitelmia tarkastaessaan valvojan tulee erityisesti

varmistua siitä, että käytettävillä työtavoilla pystytään injektointi suorittamaan luotettavasti.

3.3 L a a d u n v a l v o n t a

B e t o n i t e r ä s t e n ja valmiiden raudoitteiden tarkastuksessa on kiinnitettävä huomiota mm. seuraaviin seikkoihin:

- valssausmerkinnät, valmistaja, laadunvalvontasopimus
- lujuusluokka
- hitsattavuus
- pintaviat ja syöpymät
- ruosteisuus ja likaisuus
- raudoitteiden muoto, mitat ja taivutussäteet

R a u d o i t u s t y ö n valvonnassa ovat tärkeitä kohtia mm.

- raudoitteiden mitat ja lukumäärä
- raudoitteiden oikea asema, varsinkin tukialueilla ja ulokkeilla
- riittävät välit betonoimista ajatellen
- betonipeite
- työterästen, raudoitustukien ja välikkeiden määrät
- välikkeiden tukipinnat, muoto ja kiinnitys
- raudoitteiden huolellinen sidonta

T a r t u n t o j e n k i i n n i t t ä m i s e n valvonnassa ovat huomionarvoisia asioita mm:

- poratun reiän halkaisija ja pituus
- reiän vesitiiveyden varmistaminen
- laastitäytön huolellisuus
- tangon tartuntapituus ja tuenta kovettumisen aikana

Mikäli työn laatu antaa aihetta epäilyihin, esim. laasti ei täytä reikää ylös asti tai tanko on liikkunut kovettumisen aikana, voidaan työn onnistumisesta varmistua esim. vetokokeita käyttäen. Sopivia menetelmiä on esitetty VTT:n geotekniikan laboratorion tiedonannossa n:o 27 "Kal-liopulttien asennus ja laadunvalvonta".

3.4 K e l p o i s u u d e n t o t e a m i n e n

Jos todetaan, että betoniteräket eivät kuulu laadunvalvontasopimusten piiriin tai on muuta erityistä syytä esim. pintavikoja, murtumia tai syöpymiä, otetaan teräksistä näytteet ohjeiden B4 kohdan 6.4.1 mukaisesti.

Jos perustellusti voidaan epäillä, että raudoituksen asema ei betonoinnin aikana ole säilynyt oikeana, tulee se tarkistaa luotettavilla ainetta rikkomattomilla menetelmillä esim. magneettisella pintakerrosmittarilla. Mittari on kalibroitava työmaakohtaisesti ensin mittaamalla, sitten piikkaamalla raudoitus esille ja vertaamalla tuloksia.

4. JÄNNITTÄMISTYÖT

4.1 M a t e r i a a l i t

Valvojan on hankittava käyttöönsä sekä jännemenetelmää että siinä käytettävää jänneterästä koskevat käyttöselosteet. Jänneteräksen käyttöseloste on valmistajakohtainen ja jänneteräksen toimittaja on velvollinen lähettämään sen työmaalle. Suomen Betoniyhdistys ry myöntää hakemuksesta käyttöselosteet, joita tällä hetkellä on hyväksytty ja voimassa 52 kpl.

Kun jänneteräket saapuvat työmaalle, on ne tarkastettava silmämääräisesti ja otettava talteen tunnuslaput, joissa tulee olla terästen käyttöselosteessa mainitut tiedot. Lisäksi valvojan on varmistettava, onko jänneteräksestä tehty laadunvalvontasopimus Valtion Teknillisen Tutkimuskeskuksen kanssa. Sisäasiainministeriö pitää luetteloa voimassa olevista laadunvalvontasopimuksista ja julkaisee sen ajoittain RT-kortiston säännöstiedostossa. Valvontaohjeen julkaisuhetkellä oli voimassa kortti SM-20474, pvm. 8.12.1982. Mikäli näin on, ei työmaakohtaisia kelpoisuuskokeita tarvita. Jos sopimusta ei ole olemassa tai on muuten erityistä syytä epäillä jänneterästen kelpoisuutta, esim. pintavikoja, tehdään niille ohjeiden B4 kohdan 6.4.3 mukaiset kokeet.

Käytettävällä jännemenetelmällä tulee myös olla Suomen Betoniyhdistys ry:n antama voimassaoleva käyttöseloste. Tällä hetkellä ovat voimassa seuraavat 8 jännemenetelmän käyttöselostetta:

Jännemenetelmä

VSL
BBRV
Dywidag Tankomenetelmä
Dywidag Punosjännemenetelmä
Freyssinet
Leoba Ak
BBRV perustusrakenteissa
CCL

Edustaja Suomessa

Ins.tsto Pentti Kaista & Co Oy
AB Strängbetong
Tensicon Oy
Tensicon Oy
Jännitetty Betoni Oy
Prestressing Oy
Pohjavahvistus Oy
Oy Erho Ab

Valvojan on työmaalla mittauksin varmistettava, että ankkureiden ja jatkososien mitat ja ainevahvuudet ovat käyttöselosteen mukaiset. Lisäksi on tarkistettava, ettei niissä ole kuljetuksessa tai käsittelyssä tulleita vikoja, esim. kierteiden rikkoutumisia.

Injektointilaastissa käytettävä sementti ei saa olla niin tuoretta, että sen lämpötila ylittää $+40^{\circ}\text{C}$. Toisaalta se ei yleensä saa olla kuukautta vanhempaa, koska sementin paakkuuntuminen saattaa silloin ratkaisevasti vaikeuttaa injektointia. Laasteissa käytetään yleensä paisuttavaa lisäainetta, jolla on oltava hyväksytty käyttöseloste ja käyttöselosteen on oltava myös työpaikalla.

4.2 Työnsuoritus

4.21 Jännittämistöiden suunnitelma

Jännittämistyön suorittaja laatii jännittämistöiden suunnitelman liitteen mukaisille Rakentajain Kustannus Oy:n julkaisemille lomakkeille. Lomakkeiden sisältö on seuraava:

Lomake 1: Yleinen osa

2: Jännittämisspöytäkirja

3: Vertailulaskelma jännevoiman Po jakautumasta

4: Jännittämisvoiman ja mittalaitteen lukeman välinen riippuvuus

5: Injektointipöytäkirja

Ensimmäisessä vaiheessa jännittämistyön suorittaja esittää tarkastettavaksi lomakkeet 1, 2 ja 3. Näistä lomakkeet 1 ja 3 täytetään kokonaisuudessaan ja lomake 2 siten, että mitatut arvot puuttuvat ja eri jännittämisvaiheista vain tarvittavat merkitään.

Ennenkuin varsinaiseen jännittämiseen ryhdytään toimittaa jännittämistyön suorittaja valvojalle lomakkeen 4 liitteineen sekä kopiot jänne-terästen koestustodistuksista. Jännittämistyön kuluessa täytetään lomaketta 2 kirjaten siihen mitatut voimat ja venymät. Työn valmistuttua lasketaan poikkeamat venymistä ja voimista sekä toimitetaan lomake 2 valvojalle asianmukaisesti täytettynä ja allekirjoitettuna. Valvoja tarkastaa pöytäkirjamerkinnot ja allekirjoittaa puolestaan lomakkeet sekä toimittaa tiedot edelleen jännittämistyön hyväksymistä varten. Jännittämistyön hyväksymisen jälkeen jänneet injektoidaan ja täytetään injektointipöytäkirja, lomake 5, jonka valvoja toimittaa edelleen hyväksyttäväksi.

Ennenkuin jänneitä ryhdytään asentamaan on valvojan vaadittava niiden tukemisesta yksityiskohtaiset suunnitelmat laskelmineen tarkastettaviksi. Valvojan on varmistauduttava siitä, että asennuspukkien suunnittelussa on otettu huomioon jänneen epäkeskeisyys kaarevilla osilla. Jännittämisen yhteydessä jänne asettuu suojaputken sisäreunaan. Tästä johtuen on ylöspäin kaarevilla jänneen osilla suojaputket asennettava vastaavasti alemmaksi ja alaspäin kaarevilla alueilla esim. tukialueilla vastaavasti ylemmäksi, jotta jännitetyn jänneen painopiste yhtyisi suunnitelmassa esitettyyn jänneen asemaan. Asennuspukkien tuennassa käytettäviä välikkeitä koskevat samat määräykset mitä on edellä esitetty raudoituksen tuennasta.

4.22 Jänneiden asema ja jännevoima

Jänneiden ylimääräiset mutkat vaikuttavat oleellisesti jännevoiman suuruuteen. Tästä johtuen on, mikäli jänneiden asemaa joudutaan korjaamaan, huomattava, että kitkan pienentämiseksi on syntyneet poikkeamat korjattava vähitellen, poikkeaman muutos saa olla korkeintaan 10 mm jänneen pituuden yhtä metriä kohti. Jänneiden huolellisella asentamisella varmistetaan osaltaan jännevoiman pysyminen sallituissa arvoissa jännittämisen yhteydessä.

Jännitettäessä nousee jänneteräksen jännitys lähelle myötörajaa, joten SYT:ssä sallittua jännevoiman 5 % ylitystä ei tule käyttää kuin poikkeustapauksissa. Kitka-arvojen vaihtelun vuoksi on ensimmäistä jännettä jännitettäessä huolellisesti seurattava, että voima ja venymä vastaavat toisiaan. Tarvittaessa on jännittämissuunnitelma tarkistettava. Jos esimerkiksi voima ylittyy lasketulla venymällä 5 %, tarkistetaan suunnitelmaa siten, että jännevoima ylittyy 2-3 % ja samanaikaisesti venymä alittuu 2-3 %.

4.23 Jänteiden varastointi ja asennus

Jänneteräokset ovat useimmiten harjateräksiin verrattuna läpimitaltaan huomattavasti pienempiä ja laadultaan erittäin korkealuokkaisia. Sen vuoksi niiden asialliseen varastointiin ja suojaamiseen on kiinnitettävä aivan erityistä huomiota. Tiesuola ja yleensäkin kloridit edistävät korroosiota voimakkaasti. Mitään hitsaustöitä ei saa suorittaa jänteiden läheisyydessä suojaamatta jäniteitä kunnolla ja varmistamatta, ettei lämpötila nouse liian korkeaksi.

Valmiiksi asennettujen jänteiden aseman ja muodon korjaaminen muotissa on erittäin vaikeaa. Tämän vuoksi on erityistä huomiota kiinnitettävä siihen, että tuennassa käytettävät asennuspukit ovat mittatarkat ja että ne on asennettu muotissa oikealle kohdalle. Jänteet on sidottava huolellisesti asennuspukkeihin ja nämä vuorostaan muuhun raudoitukseen, jotta betonoinnin aikana jänteet eivät pääse siirtymään.

Ankkurikappaleiden sijainti ja kohtisuoruus jännettä vastaan on myös tarkastettava. Ankkurikappaleet on kiinnitettävä lujasti muottiin, jotta ne eivät pääse kääntymään betonoitaessa vinoon asentoon. Jänteiden suojaputket on tarkastettava ennen muottiin asennusta ja myöhemmin vielä välittömästi ennen betonointia esim. varrellisen peilin avulla. Suojaputkien reiät paikataan esim. eristysnauhalla. Samoin on valvojan varmistettava, että apuputket on kunnolla kiinnitetty ja niiden liitokset suojaputkiin tiiviit. Jos on odotettavissa, ettei jäniteitä voida heti jännittämisen jälkeen injektoida, on suojaputket varustettava myös alimmissa kohdissa olevilla vedenpoistoputkillla.

4.24 Jännittäminen

Ennen jännittämistä on rakenteen betonin lujuus todettava sekä koekappalein että lämpötilamittausten avulla. Koekappaleet on säilytettävä samoissa olosuhteissa kovettuvan betonin kanssa. Tällöin on lämpötila mitattava myös koekappaleiden säilytyspaikassa, jotta koekappaleiden säilytysolosuhteiden ja rakenteen kovettumisolosuhteiden välinen vertailu voidaan tehdä. Ankkurointikohdat saavat jännittämisen yhteydessä suuria paikallisia jännityksiä, joten betonoinnin onnistumisen toteamiseksi on syytä purkaa muotit näiltä alueilta. On tärkeitä myös varmistaa, etteivät muotit, telineet tai laakerit estä rakenteen pituuden muutoksia jännitettäessä. Jännittämistä ei saa koskaan aloittaa ilman valvojan lupaa.

Valvojan tulee etukäteen tutustua urakoitsijan käyttämään kalustoon sekä varsinkin voiman ja paineen mittaukseen. Jännittämisessä käytettävän kalustoyhdistelmän kalibrointi on parasta tehdä työmaalla valvojan läsnäollessa käyttäen voimanmittaria, joka on vuosittain kalibroitu hyväksytyssä koestuslaitoksessa. Jännittämisen edistyessä on koko ajan tarkkailtava sekä voimaa että venymää ja niiden keskinäistä riippuvuutta. Mikäli venymä ei kasva samassa tahdissa jännevoiman kanssa on todennäköistä, että jännteessä on kohtia esim. osittaisia tukkeumia, jotka lisäävät kitkaa.

Työturvallisuus on tässä työvaiheessa tärkeä asia. Koska jännittämisessä käytetään suuria voimia ja korkeita nestepaineita, on valvonnassa erityistä huomiota kiinnitettävä siihen, että käytettävät laitteet, puristimet ja pumput sekä letkut ovat kunnossa ja niiden käsittelyssä noudatetaan asiaan kuuluvaa varovaisuutta. Jännittämisen aikana ei saa missään tapauksessa oleskella puristimen takana. Asiaankuulumattomien henkilöiden tarpeeton liikkuminen tällä alueella on myös kiellettyä ja suojalasien käyttäminen on suositeltavaa ainakin jännittämistä suorittaville henkilöille.

Valvojan on varmistettava, että pöytäkirjamerkinnot tehdään huolellisesti ja totuudenmukaisesti. Jos jännettä jännitetään samanaikaisesti molemmista päistä, on työn edistytävä vaihteittain, jotta venymät ja

voimat säilyisivät samansuuruisina jänteen eri päissä. Tämä edellyttää viestiyhteyden järjestämistä rakenteiden päiden välille. Valvojan tulee seurata ja tarkkailla jännittämistyötä henkilökohtaisesti koko ajan.

4.25 Injektointi

Kun jännittämispöytäkirja on asianmukaisesti tarkastettu ja hyväksytty sekä injektointilupa annettu, voidaan injektointi aloittaa. Injektointin onnistumisella on ratkaiseva merkitys jännitettyjen rakenteiden säilyvyydelle. Siksi tämänkin työvaiheen valvonnassa on työn huolellisuuteen kiinnitettävä aivan erityistä huomiota.

Jos injektointi tehdään viimeistään kuukauden kuluessa jännittämisestä, voidaan lyhytaikainen korroosiosuojaus varmistaa siten, että kanavien läpi puhalletaan kuivaa ilmaa ja kaikki aukot suljetaan sen jälkeen tiiviisti. Pitempiaikaisissa korroosiosuojauksissa on lisäksi käytettävä sopivia vesiliukoisia öljyjä tai pulvereita, joiden käytöstä on laadittava suunnitelma. Suoja-aineiden ruosteenesto-ominaisuuksista, vesiliukoisuudesta ja vaikutuksesta jänneterästen tartuntaan tulee olla käytettävissä tutkimustulokset.

Injektointilaastin koostumus on selvitettävä ennakolta kokein. Lujuuden ennakkokokeet voidaan kuitenkin korvata aikaisemmin tehdyillä saman koostumuksen omaavan laastin koetuloksilla, mikäli tulokset eivät ole vuotta vanhempia. Tuoreen laastin kokeet ja jäädytyskoe on tehtävä aina ennakolta työmaakohtaisesti. Kokeet on tehtävä samasta sementin toimituserästä, jota varsinaisessa injektoinnissa tullaan käyttämään. Julkaisussa "Betonin lisäaineet (by 14)" on esitetty ohjeet jäädytyskokeen suorittamiseksi. Kokeessa käytettävää boorisilikaattilasista putkea, jonka läpimitta on 13 mm ja pituus 400 mm, pitävät useimmat laboratorioalan tarvikeliikkeet varastotavarana. Boorisilikaattilasilla on erittäin pieni pituuden lämpötilakerroin, jonka vuoksi putki rikkoontuu helposti, jos laasti jäätyessään paisuu liiaksi. Jäädytyskoe kestää yhteensä 2 vuorokautta ja kokeessa tarvittava alhainen lämpötila -10°C on esim. jääkaapin pakastelokerossa. Koe on onnistunut, jos putki ei rikkoudu.

Valvojan tulee tarkastaa injektoinnin aikana tehdyt tuoreen laastin kokeet ja todeta, että tulokset täyttävät asetetut vaatimukset. Itse

injektointia voidaan valvoa tarkkailemalla laastin menekkiä ja toteamalla, että kanavan toisesta päästä samoinkuin apuputkista ulos tuleva laasti on ennen aukkojen sulkemista täysvahvaa. Injektoinnin päätyttyä tarkastetaan injektointipöytäkirja ja toimitetaan se hyväksyttäväksi. Kylmällä säällä tai jos sään kylmeneminen on odotettavissa, ei lämpösuojausta saa poistaa liian aikaisin, jottei rakenne jäähdy ennen injektointia. Höyryn puhaltaminen kanavaan on kielletty.

4.3 Korjaus - ja viimeistelytyöt

Mikäli ennen jännittämistä tapahtuvassa betonirakenteen tarkastuksessa havaitaan vaurioita on ne korjattava siten, että korjatut kohdat vastaavat lujuudeltaan alkuperäistä rakennetta. Suurten korjausten ollessa kyseessä on valvojan varmistettava rakennesuunnittelijalta, voidaanko jännittämistyö aloittaa ennenkuin korjattava kohta on saavuttanut vaaditun lujuuden.

Injektointia edeltävän vesihuuhtelun aikana on tarkkailtava, että suojaputket eivät ole yhteydessä toisiinsa. Mikäli tällaista ilmenee, joudutaan useimmiten injektoimaan toisiinsa yhteydessä olevat kanavat samanaikaisesti käyttäen injektoinnissa kahta erillistä kalustoa.

Jos injektoinnissa on syntynyt tukkeutuma, jota ei ole onnistuttu huuhtelemaan auki, on laastin kovetuttua kanavaan ulottuvien porattujen reikien avulla paikannettava tukkeutunut alue ja injektoitava sen jälkeen jänteen tyhjäksi jäänyt pää.

4.4 Laadunvalvonta

Jänneterästen ja valmiiden jänneiden tarkastuksessa on kiinnitettävä huomiota mm. seuraaviin seikkoihin:

- käyttöseloste
- tunnuslaput ja niiden tiedot; laput säilytetään
- laadunvalvontasopimus
- jänneterästen oikea koko ja määrä
- pintaviat ja syöpymät
- ruosteisuus ja likaisuus

- ankkureiden ja jatkososien mitat
- suojaputkien kunto ja mitat

J ä n t e i d e n a s e n t a m i s e n valvonnassa ovat tärkeitä kohtia mm:

- tuentasuunnitelma, epäkeskeisyys kaarevilla osilla
- oikeat tukivälit, asennuspukkien alla riittävästi välikkeitä
- jänteiden oikea lukumäärä, asema ja muoto
- riittävät välit betonoimista ajatellen
- betonipeite
- suojaputkien ehjyys ja liitokset
- ankkureiden sijainti, kohtisuoruus ja kiinnitys
- apuputkien sijainti ja kiinnitys

J ä n n i t t ä m i s e n valvonnassa ovat huomionarvoisia asioita mm:

- betonin lujuuden varmistaminen
- betonointivirheiden korjaus ennen jännittämistä
- rakenteen liikkuvuuden varmistaminen (rakenne puristuu kokoon jännitettäessä)
- kaluston kunto ja kalibrointi
- jännittämisjärjestys
- jännittämisvoimat ja venymät, max.arvot
- pöytäkirjamerkinnot

I n j e k t o i n n i n valvonnassa ovat huomionarvoisia asioita mm:

- laastin ennakkokokeiden tulokset
- jäädytyskokeen tulokset
- suojaputkien huuhtelu
- laastin tuoreus ja tasalaatuisuus (ei paakkuja)
- työn huolellisuus, apuputkien sulkeminen
- laastimenekin tarkkailu
- rakenteen lämpötila
- työnaikaiset kokeet
- pöytäkirjamerkinnot.

4.5 K e l p o i s u u d e n t o t e a m i n e n

Ellei jänneteräksestä ole tehty laadunvalvontasopimusta, todetaan niiden kelpoisuus työmaakohtaisesti kokeiden perusteella. Kokeet on esitetty ohjeiden B 4 kohdassa 6.4.3. Mikäli työmaalle toimitetaan jän-teitä valmiiksi koottuina eikä laadunvalvontasopimusta ole, tulee näytteet ottaa samoista valmistuseristä valvojan läsnäollessa valmistajan tehtaalla.

Jännittämistyön kelpoisuus todetaan valvomalla jän-teiden ja varsinkin niiden ankkureiden asentamista. Jännittämispöytäkirjan tarkastaminen on myös tärkeä osa kelpoisuuden toteamisesta.

Injektointilaastin kelpoisuuden toteamiseksi riittää yleensä kuusi lieriötä lujuuskokeita varten ja kolme jäädytyskoetta. Mikäli injek-tointi kuitenkin kestää yli kuukauden tai sillan rakentaminen tapahtuu vaiheittain, tulee edellä mainitut koekappalemäärät tehdä jokaisesta vaiheesta tai jokaista alkavaa kuukautta kohden. Valvojan tulee myös tarkastaa injektoinnin aikana päivittäin tehdyt tuoreen laastin kokeet. Koetulosten tulee täyttää SYT:n kohdassa 4.25 annetut vaatimukset.

Injektoinnin kelpoisuuden toteamiseksi tulee huolellisesti tarkastaa in-jektointipöytäkirja sekä kiinnittää työn valvonnassa erityistä huomiota laastin menekkiin ja kanavista ulos pursuavan laastin laatuun.

5. BETONITYÖT

5.1 M a t e r i a a l i t

Valmisbetonia käytettäessä tulee valvojan olla jatkuvasti selvillä be-tonitehtaan toimitusmahdollisuuksista ja laadunvalvonnasta. Jos taas betoni tullaan valmistamaan työmaan omalla betoniasemalla, on valvojan tutustuttava kiviainesten ottopaikkoihin ja eri kiviaineslajitelmien seulontatuloksiin.

Jos betonin valmistukseen käytetään muuta kuin vesijohtoverkostosta saatavaa vettä, on valvojan vaadittava, että veden kelpoisuus on sel-vitetty. Valvojan on myös varmistettava, että käytettävillä lisäaineilla on voimassa oleva käyttöseloste ja että tämä käyttöseloste on betonin valmistuspaikalla. Mikäli työssä tullaan käyttämään erikoislaasteja, on niiden käyttöselosteet myös oltava työmaalla.

5.2 Työnsuoritus

5.21 Betonityösuunnitelma

Valvojan tulee hyvissä ajoin ennen betonitöiden aloittamista selvittää itselleen mitä asioita betonityösuunnitelmassa olisi esitettävä ja mitä vaatimuksia kullekin kohdalle annettava. Täten hän tulee jo etukäteen, ennenkuin betonityösuunnitelma esitetään tarkastettavaksi, perehtymään kyseiseen työvaiheeseen. Valvojan tulee käydä yhdessä betonityönjohtajan kanssa lävitse laadittu betonityösuunnitelma kohta kohdalta. Eri-tyistä huomiota tulee kiinnittää varautumiseen häiriöihin, varakalustoihin ja talvityöhön liittyviin seikkoihin.

Seuraavissa kohdissa on lyhyesti esitetty työvaiheittain muita seikkoja, joihin valvojan tulee kiinnittää huomiota betonityösuunnitelmaa tarkastaessaan ja betonitöitä valvoessaan.

5.22 Betonimassan valmistus ja kuljetus

Valvojan tulee kiinnittää huomiota siihen, että betonimassan suurinta raekokoa ei valita turhan pieneksi eikä käytetä tarpeettoman notkeaa massaa ainakaan ilman notkistavia lisäaineita. Massan suurin raekoko on yleensä 32 mm. Reunapalkeissa ja tiheästi raudoitetuissa rakenteissa voidaan käyttää 16 mm raekokoa. Paksuissa ja harvaan raudoitetuissa rakenteissa voidaan käyttää suurempaakin raekokoa, mikäli käytettävä betonointitapa sallii sen. Toisaalta betonimassan raekokoa ei tule valita niin suureksi, että pinnan hiertäminen tulee kohtuuttoman vaikeaksi. Vetelän ja notkean betonin käyttö on perusteltua vain, jos rakenteen muoto, mitat ja raudoitteiden keskinäiset etäisyydet ovat sellaisia, ettei jäykemmällä betonilla voida olla varmoja tiivistämisen onnistumisesta. Tällöinkin notkistaminen on tehtävä lisäaineita käyttäen eikä vettä lisäämällä.

Valvojan on varmistuttava siitä, että rakenneosissa, jotka voivat joutua tiesuolan vaikutuksen alaisiksi tai jotka sijaitsevat vedenpinnan vaihtelualueella, on betonille annettu säilyvyysvaatimus. Jos suunnitelmassa on esitetty ilmavesisuhdevaatimus, on valvojan tarpeen mukaan muutettava se suojahuokossuhdevaatimukseksi.

Käytettäessä samanaikaisesti useampia lisäaineita tulee valvojan varmistua siitä, että valitut lisäaineet soveltuvat yhdessä käytettäväksi. Eri valmistajien lisäaineita ei ole suositeltavaa käyttää yhdessä.

Nyrkkisääntönä voidaan pitää, että kesäaikana ($t \geq 10^{\circ}\text{C}$) ilman hidastinta valmistetun betonin tulee olla työmaalla allassäiliöautoa käytettäessä viimeistään 45 min ja pyörintäsäiliöautoa käytettäessä viimeistään 90 min valmistuksen jälkeen. Jos käytössä on sekoitinsäiliöauto, voidaan vesi lisätä vasta työmaalla ja suorittaa sekoitus siellä. Yllämainitut ajat rajoittavat ilman hidastinta valmistetun betonin kuljetusmatkat suhteellisen lyhyiksi. Hidastinta käyttäen voidaan kuljetusaikaa ja siten myös kuljetusmatkaa pidentää tarvittavissa määrin. Hidastimen käyttöön on syytä joka tapauksessa aina varautua mahdollisten häiriöiden esim. betonimassan toimituskatkojen vuoksi. Sitoutumisen ja veden haihtumisen vuoksi betonimassa pyrkii jäykistymään, jos sitä joudutaan varastoimaan ennen muottiin laittamista. Puolen tunnin varastointiajan kuluessa massan notkeus voi muuttua jopa kaksi notkeusluokkaa esim. notkeasta jäykkään.

5.23 Betonointi

Siltatyömailla yleisimmin käytettävät betonimassan siirtotavat ovat autobetonipumppu tai ajoneuvonosturi. Molemmilla tavoilla päästään suuriin tehoihin, joten kaikki muutkin betonityön vaiheet on varauduttava tekemään vastaavalla teholla.

Varsinkin kuivana ja kuumana vuodenaikana on varauduttava betonointiputkien tai -sukkien käyttöön, sillä korkeisiin muotteihin suoraan otettu betonimassa tarttuu ja kuivuu yläpinnan raudoituksiin kiinni.

Betonityösuunnitelmaa laadittaessa on kiinnitettävä huomiota siihen, että monista osatekijöistä johtuen betonointi voi kestää kauemmin, kuin on suunniteltu. Tämän vuoksi tulee varsinkin pimeänä vuodenaikana varautua valaistuksen käyttämiseen.

Betonointikohteeseen tulee aina varata riittävästi tiivistämiskalustoa ja sille myös varakalustoa. Tärysauvojen tiivistystehoja ei pidä olettaa

liian suuriksi. Käytännön työssä on työsaavutus yleensä paljon teoreettista arvoa pienempi, esim. 50 mm:n sauvalla n. $3 \text{ m}^3/\text{h}$ ja 70 mm:n sauvalla n. $6 \text{ m}^3/\text{h}$. Varakalustoa tulee lisäksi olla 30-100 %, kaluston kunnosta riippuen. Valvojan tulee tarkkailla, että tiivistäminen suoritetaan tasaisesti ja huolellisesti.

Korkeissa rakenteissa saattaa betonimassan laskeutuminen aiheuttaa pintahalkeilua. Tämän vuoksi on syytä aina suorittaa pintakerroksessa jälkitärytys. Tarvittaessa voidaan betonimassassa näillä osin käyttää myös hidastinta, jolloin ennen pintakerroksen betonointia voidaan pitää laskeutumista ajatellen tauko.

5.24 Vedenalainen betonointi

Valvojan tulee kiinnittää erityistä huomiota betonointiputkien tukemiseen, putkien jatkoksiin ja puhtauteen. Vaaditun nousunopeuden saavuttaminen on myös varmistettava sekä betonimassan valmistuksen ja kuljetuksen että muottiin siirron osalta. Tarvittaessa on betonoitava kohde jaettava pienempiin osiin työsaumoilla.

SYT:n ohjetekstissä on erotettu kaksi tapaa vedenalaisessa betonoinnissa:

- Massa siirretään betonointiputkien suppiloihin nosturin tai pumpun avulla ja betonointi tapahtuu massan oman painon avulla. Tällöin betonointiputkien sisäläpimitan tulee yleensä olla vähintään 250 mm.
- Betonimassa pumpataan paineella suoraan kiinteään betonointiputkeen, johon pumpun jakeluputki on kiinnitetty. Tällöin putken läpimitta voi olla edellä mainittua pienempi, mutta pumpun jakeluputki on pystytävä sulkemaan luotettavasti, jotta sen alapää ei tyhjene siirtojen aikana eikä betonointiputkeen täten pääse ilmaa. Pumpun aiheuttamien sysäysten vaimentamiseksi tulee putken läpimitan kuitenkin yleensä olla 20 % suurempi kuin pumppukaluston putkien.

Pienet kohteet on kuitenkin mahdollista betonoida käyttäen betonointiputkena jatkamatonta pumpun linjaputkea. Tämän mahdollisuuden käyttäminen on kuitenkin syytä rajata sellaisiin kohteisiin, joissa selvittää yhdellä betonointiputkella. Pumpun linjaputken pituus

rajoittaa myös tämän mahdollisuuden käytön sellaisiin kohteisiin, jotka eivät sijaitse kovin syvällä. Betonointiputken kiinnitys on tässäkin tapauksessa tehtävä huolella.

Valvojan tulee kiinnittää huomiota myös siihen, että työtelineet tehdään riittävän korkeiksi silloin, kun betonointi tapahtuu massan oman painon avulla. Vedenpinta muotissa ei saa nousta ulkopuolisen vedenpinnan yläpuolelle. Tämän estämiseksi muottiin on tehtävä aukot veden purkautumista varten.

5.25 Betonointi kylmänä vuodenaikana

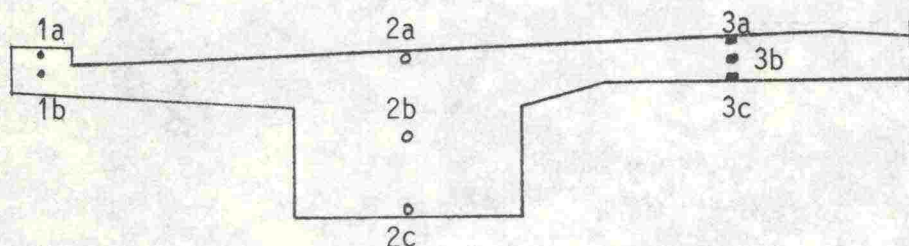
Valvojan tulee varmistua siitä, että talven tuloon on betonointisuunnitelmassa riittävästi varauduttu. Vuorokauden keskilämpötila laskee yleensä 0°C alapuolelle etelä- ja lounaisrannikolla marraskuun lopussa, Keski-Suomessa marraskuun alussa ja napapiirin korkeudella lokakuun puolessa välissä.

Valvojan tulee kiinnittää huomiota siihen, että ennen betonointia lumi ja jää poistetaan muoteista sekä kylmät rajapinnat lämmitetään. Paljastetut kalliopinnat ja aikaisemmin betonoidut peruslaatat on syytä suojata jäätymiseltä pakkasmatoilla. Kovettuvaa rakennetta ei saa kuitenkaan lämmittää tarpeettomasti eikä aiheuttaa siihen suuria lämpötilaeroja. Tärkeää on, että kylmiä rajapintoja vasten oleva tuore betoni ei pääse jäätymään. Erityisen arka kohta on kylmän anturan päälle betonoidun pilarin alapää. On muistettava, että peittämättömän betonin pintalämpötila laskee lämmintäkin betonimassaa käytettäessä ulkoilman lämpötilasta riippuen muutamassa tunnissa pakkasen puolelle. Esim. kun ulkoilman lämpötila on -15°C , laskee peittämättömän betonin pintalämpötila $+20^{\circ}\text{C}$:sta kahdessa tunnissa pakkasen puolelle.

Sähkölämmitystä ja säteilylämmitystä käytettäessä tulee varmistua siitä, että tehoa on riittävästi saatavissa vaikka ulkolämpötila laskisikin oletettua alemmas. Näillä lämmitystavoilla voidaan tasata kovettuvan betonin eri osien lämpötilaeroja, kun niitä käytetään täydentävinä menetelminä rakenteen kylmimpien osien lämmittämiseen. Jos niitä käytetään yksinään, tulee käytettävissä olla mahdollisuus niistä riippumattoman

varajärjestelmän käyttöön. Lankalämmityksen varmuutta voidaan oleellisesti lisätä käyttämällä kriittisissä kohdissa kaksinkertaista langoitusta. Liian suuria paikallisia lämmitystehoja tulee välttää sekä sähkö- että säteilylämmitystä käytettäessä.

Kun kovettuvaa betonia ei suojata eikä lämmitetä ja kyseessä ovat pienet rakennemitat, pienempi sivu ≤ 0.8 m, voidaan lämpötilahavainnot tehdä ulkoilmasta tai rakennetta mahdollisesti ympäröivästä vedestä. Muulloin lämpömittarit asennetaan betoniin kuiviin putkiin tai käytetään tarkoitukseen kehitettyjä mittausantureita. Lämpötilanmittauspisteet on sijoitettava sekä rakenteen oletettuihin lämpimimpiin että kylmimpiin kohtiin ja rajapintoihin. Lämpötilan mittauksia on tehtävä aluksi 6 tunnin välein ja lämpötilan tasaannuttua 1-2 kertaa vuorokaudessa.



Kuva 1: Esimerkki lämpötilanmittauspisteiden sijoituksesta. Rakenteen lämpötilaeroja tarkastetaan erikseen pisteissä 1a,b ja 2a,b,c sekä 3a,b,c.

5.26

Betonin lämpötilamuutosten ja -erojen vaikutukset

Lämpötilamuutosten seurauksena esiintyy betonissa vastaavia tilavuuden muutoksia. Mikäli nämä estyvät, syntyy rakenteeseen jännitystila. Kun rakenteen lämmin sisäosa estää jäähtyvän pintakerroksen supistumisen, syntyy rakenteen pintaosiin ns. pintahalkeamia. Silloin kun betonoitu

rakenne kiinnittyy alustaansa esim. aikaisemmin betonoituun rakenne-osaan, syntyy betonin jäähtyessä läpimeneviä runkotalkeamia.

Halkeamat syntyvät useimmiten juuri jäähtymisvaiheen aikana. Siksi rakenteiden suojaamisessa tulee erityistä huomiota kiinnittää lämpötilaerojen ja -muutosten pitämiseen mahdollisimman pienenä myös jäähtymisvaiheessa. Rakenteen yläpinta on peitettävä, ohut eristys parantaa lopputulosta myös kesällä. Lämpimän betonirakenteen ympäriltä ei pidä koskaan poistaa muotteja nopeasti ja jättää rakennetta välittömästi ulkoilman lämpötilaan. Jäähtymisvaiheen aikana ei betonin lämpötila saisi laskea nopeammin kuin $1^{\circ}\text{C}/\text{h}$.

Kovettuvan betonin lämpötilaan voidaan vaikuttaa alentamalla betonimassan alkulämpötilaa. Betonimassan lämpötila määräytyy osa-aineiden lämpötiloista likimäärin seuraavan kaavan mukaan:

$$T_b = \frac{RT_r + CT_c + 5WT_w}{R + C + 5W}$$

missä, R = runkoaineen määrä kg/m^3
 C = sementtimäärä kg/m^3
 W = käytetty vesimäärä kg/m^3
 T_r = runkoaineen lämpötila $^{\circ}\text{C}$
 T_c = sementin lämpötila $^{\circ}\text{C}$
 T_w = veden lämpötila $^{\circ}\text{C}$

Kaavan avulla voidaan todeta, että kukin seuraavista toimenpiteistä alentaa betonimassan lämpötilaa 1°C verran:

- sementin lämpötilaa lasketaan 10°C
- kiviaineksen lämpötilaa lasketaan $1,6^{\circ}\text{C}$
- veden lämpötilaa lasketaan $3,6^{\circ}\text{C}$
- vedestä korvataan jäähileellä $6 \text{ kg}/\text{m}^3$

Käytännössä voidaan yllämainituilla osa-aineisiin kohdistuvilla toimenpiteillä alentaa betonimassan lämpötilaa seuraavasti:

- | | |
|-------------------------------------|--------|
| - kuuman sementin välttäminen | 2-3°C |
| - kiviaineksen suojaus ja jäähdytys | 5-10°C |
| - veden jäähdytys | 3-6°C |
| - jäähileen käyttö | 5-15°C |

Jäähileen sijasta voidaan veden lämpötilaa alentaa nestemäisen typen avulla.

Betonin lämpötilan nousuun vaikuttavat eniten betonimassan sementtimäärä ja käytetyn sementin lämmönkehitys. Betonin koostumuksen valinnassa voidaan sementtimäärä pienentää seuraavilla toimenpiteillä:

- käyttämällä vedentarvetta vähentäviä lisäaineita
- pyrkimällä olosuhteista riippuen mahdollisimman jäykän massan käyttöön
- suurentamalla maksimiraekokoa
- käyttämällä rakeisuudeltaan edullista runkoainetta

Alhaislämpösementin lämmönkehitys on n. 75 % yleisportlandsementin vastaavasta arvosta, joten käyttämällä alhaislämpösementtiä voidaan oleellisesti vähentää kovettuvan rakenteen lämpötilan nousua. Suurin hyöty saavutetaan, jos lujuuden arvosteluikä voi olla 90 vrk.

Betonin kovettuessa syntyvä hydrataatiolämpö poistuu rakenteesta yleensä rakenneosan vapaiden pintojen kautta. Lämpö poistuu sitä hitaammin, mitä suurempi on rakenneosan tilavuuden suhde sen avoimeen pinta-alaan. Rakenneosan paksuus on yleensä tässä määräävin tekijä.

Lämmön poistumista voidaan parantaa jakamalla betonoitava kohde pienempiin osiin. Talviolosuhteissa voidaan paksut rakenteet betonoida kerroksittain käyttäen hidastettua betonimassaa, jolloin edellisen kerroksen lämpötilan voidaan antaa laskea ennen uuden kerroksen betonointia.

Jäähdytysputkiston käytöstä on laadittava laskelmiin perustuva suunnitelma. Putkiston jäähdytysteho riippuu putkien lukumäärästä, betonin ja jäähdytysveden lämpötilaerosta, putkimateriaalista, putkisolmukan pituudesta ja jäähdytysveden virtausmäärästä. Käytännössä on jäähdytyksellä saatu aikaan kovettuvan betonin maksimilämpötilan lasku $5-8^{\circ}\text{C}$:lla käytettäessä $\varnothing 25$ mm muoviputkia k 600 mm yksittäisen putkisolmukan pituuden ollessa 100 m ja jäähdytysveden lämpötilan ollessa $+5^{\circ}\text{C}$ sekä veden virtausnopeuden n. 20 l/min.

Tavanomaisissa olosuhteissa voidaan rakenneosan maksimilämpötilan ajankohta $t_{T\max}$ ja lämpötilan tasaantumisaika t_{tas} esittää likimäärin paksuudesta d , metreissä lausuttuna, riippuvaisiksi seuraavasti:

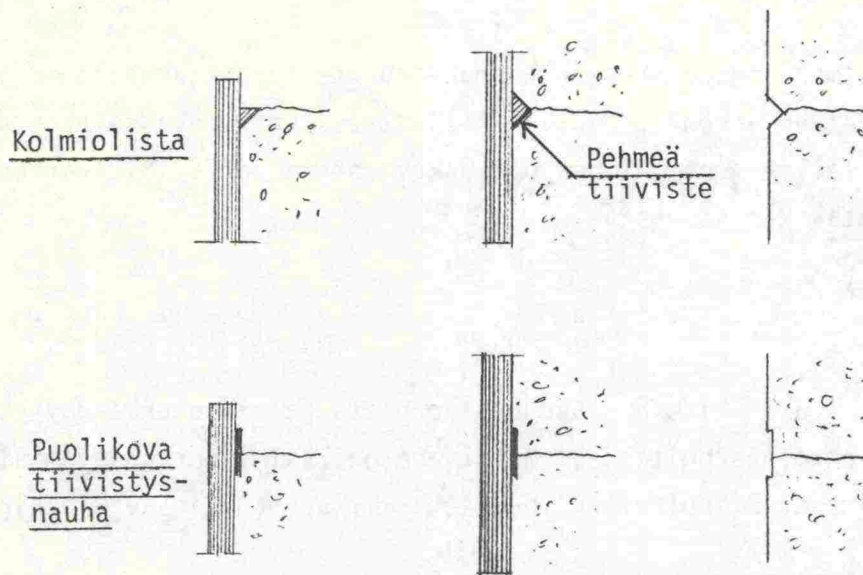
$$\begin{array}{llll} t_{T\max} = 0,8 \times d + 1 \text{ (vrk)} & \text{esim. } d = 1,2 \text{ m,} & t_{T\max} = 2 \text{ vrk} \\ t_{\text{tas}} = 12 \times d - 5 \text{ (vrk).} & & t_{\text{tas}} = 9 \text{ vrk} \end{array}$$

5.27 Työsaumat

Uusi työsauma voi vaikuttaa rakenteen toimintaan ja vaatii yleensä lisäteräksiä. Tämän vuoksi tulee valvojan olla aina yhteydessä suunnittelijaan, kun työsaumojä joudutaan muuttamaan tai lisäämään.

Talviolosuhteissa voidaan joutua tarkistamaan työsaumajakoa betonoidessa yhtenäisiä pitkiä rakenteita aikaisemmin betonoitujen rakenneosien varaan. Jotta jäähtymisestä aiheutuva runkohalkeamien syntyminen vältettäisiin, ei ero aikaisemmin betonoidun ja uuden rakenneosan keskilämpötilojen välillä saisi olla yli 20°C kun työsaumajako on 20 m, eikä yli 30°C kun työsaumajako on 10 m.

Valvojan tulee kiinnittää huomiota siihen, että sekä vaakasuorat että pystysuorat työsaumat karheudeltaan vastaavat esitettyjä vaatimuksia. Huolellisella muottien kiristämällä ja saumapintojen puhdistamisella ennen uutta betonointia estetään parhaiten betonimassan valuminen vanhoille pinnoille. Saumassa voidaan myös käyttää oheisen kuvan mukaista tiivistysnauhaa, joista alemmalla saadaan sekä ulkonäön että betonipiteen kannalta parempi tulos.



Kuva 2. Työsauman tiivistystapoja

5.28 Pintojen käsittely ja jälkihoito

Oikein ajoitetulla pintojen hierrolla voidaan huomattavasti vähentää betonin laskeutumisesta aiheutuvaa pintahalkeilua. Erittäin tärkeää on myös estää pintojen kuivuminen heti betonoinnin jälkeen. Kastelu on täten pyrittävä aloittamaan välittömästi, kun pinta kestää vettä esim. sumuttamalla. Normaaliolosuhteissa tulee kastelua yleensä jatkaa vähintään 7 vrk:n ajan.

5.3 Korjaus - ja viimeistelytyöt

Valvojan on harkittava, onko syntynyt vaurio niin suuri, että siitä on laadittava kirjallinen korjaussuunnitelma ja onko tämä suunnitelma esitettävä myös rakenteen suunnittelijan hyväksyttäväksi. Mitoiltaan pienet rakenneosat, esim. pilarit, ovat tässä suhteessa kaikkein arimpia. Pieniä vikoja, joiden korjaamisesta voidaan sopia suullisesti, ovat mm. valuhuokokset, pienet harvavalut sekä rakenteellisesti merkityksettömät lohkeamat ja halkeamat.

Korjaustoimenpiteen tarkoituksenmukaisuutta harkittaessa on muistettava, että rakenteen ulkonäkö ei aina korjattaessa parane. Usein on parempi ratkaisu sallia kohtuullinen ulkonäkövirhe ja periä siitä arvovähennys, kuin yrittää korjata asiaa.

5.4 L a a d u n v a l v o n t a

M a t e r i a a l i e n laadunvalvonnasta valmisbetonia käytettäessä huolehtii betonitehdas. Mikäli betoni valmistetaan työmaalla on valvonnassa kiinnitettävä huomiota mm. seuraaviin seikkoihin:

- sementin tuoreus, ei paakkuuntunutta
- runkoaineen puhtaus ja tasalaatuisuus
- runkoaineen tiheys malmipitoisessa kiviaineessa
- veden väri ja epäpuhtaudet
- lisäaineet ja niiden käyttöselosteet
- erikoislaastit ja niiden käyttöselosteet

T y ö n s u o r i t u k s e n valvonnassa ovat tärkeitä asioita mm:

- betonityösuunnitelman huolellinen valmistelu
- betonin ennakkokokeet
- betonimassan raekoon ja notkeuden sopivuus kyseiseen kohteeseen
- kuljetus- ja käsittelyaika
- betonointipöytäkirjan täyttäminen, myös työssä ilmenneet hankaluudet
- huolellinen tiivistäminen, jälkitärytys
- työnaikaiset kokeet
- pintojen viimeistely ja jälkihoito
- työsaumojen karheus ja tiiviys
- lujuudenkehityksen varmistaminen

V e d e n a l a i s e n b e t o n o i n n i n valvonnassa tulee erityisesti tarkkailla seuraavia asioita:

- betonointiputkien puhtaus ja jatkosten tiiviys
- putkien sijainti ja sidonta
- nousunopeus ja putken alapään asema

- betonipinnan tasainen nousu koko alueella
- epäonnistuneet aloitukset ja keskeytykset on kirjattava putkikohtaisesti ylös.

Kylmänä vuodenaikana on lisäksi kiinnitettävä huomiota mm. seuraaviin seikkoihin:

- varautuminen ajoissa sään kylmenemiseen
- muottien puhdistaminen lumesta ja jäältä
- kylmien rajapintojen lämmittäminen
- kohteen suojaus
- pienten rakenneosien lämmittäminen
- lämpötilan tarkkailu

Kun kovettuvan betonin lämpötila, sen muutokset ja erot ovat suuria, tulee valvonnassa kiinnittää huomiota mm. seuraaviin seikkoihin:

- betonimassan alkulämpötila
- sementtilaatu ja -määrä
- massan notkeus ja suurin raekoko, lisäaineet
- rakenteen jäähdyttäminen tarvittaessa
- rakenteen suojaus myös jäähtymisvaiheessa
- lämpötilan tarkkailu rakenteen eri osissa

5.5 Kelpoisuuden toteaminen

Suomessa valmistetut sementit kuuluvat laadunvalvontasopimusten piiriin, joten sementin kelpoisuutta ei tarvitse tällöin erikseen todeta.

Mikäli betonin puristuslujuuden alituksesta johtuen joudutaan poraamaan rakennekoekappaleita, todetaan betonin kelpoisuus tällöin yksinomaan satunnaisperiaatteen mukaan otettujen rakennekoekappaleiden avulla. Rakennekoekappaleiden ottaminen on syytä antaa poranäytteitä ottavan tutkimuslaitoksen tehtäväksi.

Kun betonin pakkaustenkestävyyden kelpoisuusvaatimukseksi on asetettu suojahuokossuhdevaatimus, otetaan koekappaleet massasta juuri ennen muottiin tiivistämistä. Koekappaleena käytetään normilieriötä, halkaisija 150 mm ja korkeus 300 mm. Valmistus tapahtuu samoin kuin puristuslujuuskoekappaleenkin standardin SFS 4474 mukaan.

Kun kelpoisuusvaatimukseksi on asetettu ilmavesisuhde, on sen määrittämiseksi mitattava ensin tuoreen betonimassan kokonaisilmamäärä. Mittauksessa tarvitaan ilmapumpulla ja painemittarilla varustettu ilmapitoisuusmittari. Mittarin säiliö täytetään betonimassalla, joka tiivistetään samalla tavalla kuin koekappalemuoteissa oleva massa. Kokeen suoritus on tarkemmin esitetty julkaisussa "Betonin säilyvyys (by 9)". Mittaus tehdään mittarin käyttöohjeita noudattaen. Kokeita tehdään aina vähintään kaksi. Jos näiden koetulosten erotus on suurempi kuin 0,5 %-yksikköä, tehdään kolmas koe. Saadun keskiarvon avulla määritetään betonin ilmavesisuhde ja sitä verrataan suunnitelmissa esitettyyn vaatimukseen.

Betonin lujuusluokka vedenpitävissä rakenteissa on yleensä aina vähintään K30, joten vedenpitävyyskokeita ei tarvitse tehdä.

Jos vedenalaisen betonin lujuus määritellään normikoekappaleiden avulla, tulee koekappaleiden vertailulujuuden olla 5 MN/m^2 suurempi kuin rakenteelta edellytettävä nimellislujuus. Mikäli taasen tällaisen rakenteen lujuus todetaan rakennekokeiden avulla, ei normikoekappaleita tarvitse tehdä. Rakennekoekappaleiden tulosten tulee täyttää suunnitelmassa asetettu lujuusluokkavaatimus ohjeiden B4 kohdan 6.3.6 mukaisesti. Rakennekoekappaleet tulee porata satunnaisesti, mutta kuitenkin siten, että ne antavat hyvän käsityksen koko rakenteesta. Poratusta näytteestä voidaan todeta mahdolliset huuhtoutuneet kohdat. Betonipinnan laatua ja betonoinnin onnistumista voidaan tarvittaessa tarkastella myös videokuvauksen avulla värillistä kuvanauhaa käyttäen.

Betonin lämpötilan, sen muutosten ja erojen aiheuttama lujuuskato on otettava huomioon pienentämällä normikoekappaleiden antamaa vertailulujuutta, jos yksikin

seuraavista raja-arvoista ylittyy: betonin lämpötila nousee korkeammaksi kuin $+50^{\circ}\text{C}$ tai lämpötilan nousu kovettumisvaiheessa on yli 25°C tai kovettuvan rakenteen eri osien lämpötilaero on yli 20°C . Käytännössä tapahtuu usein niin, että samanaikaisesti ylittyy kaksi tai jopa kolme näistä raja-arvoista. Lujuuskato lasketaan jokaiselle erikseen ja otetaan huomioon suurimman arvon mukaan. Jos esim. oletamme, että normikoekappaleen antama vertailulujuus on 38 MN/m^2 , suurin havaittu lämpötila $+60^{\circ}\text{C}$, suurin lämpötilan nousu 45°C ja suurin havaittu lämpötilaero rakenteessa 35°C (vrt. kuva 1 kohdassa 5.25), saadaan lujuuskadolle seuraavat arvot:

$$\text{Lämpötila:} \quad \frac{60 - 50}{70 - 50} \times 20 \% = 10 \%$$

$$\text{Lämpötilan nousu:} \quad \frac{45 - 25}{50 - 25} \times 20 \% = 16 \% \\ \text{=====}$$

$$\text{Lämpötilaero:} \quad \frac{35 - 20}{40 - 20} \times 20 \% = 15 \%$$

Pienennetty vertailulujuus on

$$\frac{100 - 16}{100} \times 38 = 32 \text{ MN/m}^2$$

On huomattava, että tätä lujuuskadon laskennallista menettelyä ei saa soveltaa enää, jos SYT:ssä annetut maksimi-arvot ylitetään, vaan rakenteen kelpoisuus on tällöin varmistettava esim. rakennekoekappalein. Jos rakenteessa on käytetty alhaislämpösementtiä, otetaan lujuuskadoksi puolet edellä esitetyllä laskelmalla saadusta arvosta.

6. RAKENNEOSAKOHTAISET MÄÄRÄYKSET JA OHJEET

6.1 Peruslaatat

6.11 Yleistä

Valvojan on syytä olla läsnä, kun sillan pääpisteitä tai mittalinjan pisteitä mitataan paikoilleen. Hänen tulee myös tarkastaa, että perustamisolosuhteet ovat työselitysten ja suunnitelmien mukaiset.

Valvojan on tarkistettava, vastaako työnaikainen vedenpinta suunnitelmassa edellytettyä. Peruslaattaa on paksunnettava, jos vedenpinta on korkeammalla ja sitä voidaan ohentaa vedenpinnan ollessa selvästi alempana (kts. myös SYT 3200, kohta 1.36).

6.12 Mittatarkkuus

Valvojan tulee kiinnittää huomiota varsinkin ohuiden pilareiden ja seinien tartuntojen oikeaan asemaan. Tartuntojen sijaintia koskevat samat toleranssit, mitä muulle raudoitukselle on esitetty.

6.13 Teline- ja muottityöt

Erityistä huomiota tulee kiinnittää muottien tiiveyteen vedenalaisissa peruslaatoissa. Muotin ja pohjan rajakohta voidaan tiivistää esim. hiekkasäkeillä. Mikäli peruslaatta betonoidaan suoraan maata vasten, tulee perusmaa tiivistää huolellisesti ja tiivistetyn pinnan tulee olla niin tasainen, että vaadittu betonipeite saavutetaan joka kohdassa (kts. myös SYT 3200, kohta 1.32).

Käytettäessä muotteina poimulevyjä, tulee peruslaatta tehdä sen verran suuremmaksi, että vaadittu betonipeite saavutetaan myös poimun kohdalla.

6.14 Raudoitustyöt

Perusmaan varaan raudoituksia tuettaessa on välikkeen tukipinnan oltava vähintään $5\,000\text{ mm}^2$, tämä edellyttää tukipinnan halkaisijan arvoa 80 mm. Kun raudoitukset tuetaan työbetonin varaan, voidaan tukemiseen käyttää joko betonivälikkeitä tai samankaltaisia muovivälikkeitä kuin lautamuotteissakin. Lisäksi on varmistettava, että betonipeitteen paksuus on kaikkialla vähintään SYT:n mukainen. Käytettäessä muottina sinkittyä profiilipeltiä voidaan kuitenkin työteräksinä käytettävät muototeräkset tukea suoraan muottia vasten.

Vedenalaisissa rakenteissa on kiinnitettävä huomiota tankojen riittäviin vapaisiin väleihin sekä peruslaatan yläpinnassa että rakenteen muissakin pinnoissa.

6.15 Betonointi

Peruslaatat ovat usein mitoiltaan suuria, joten niissä esiintyy helposti halkeilua. Tämä tulee ottaa jo betonityösuunnitelmassa huomioon massan koostumuksen, lisäaineiden käytön, lämmityksen ja suojauksen sekä jälkihoitotoimenpiteiden osalta. Asiaa on käsitelty lämmönkehityksen osalta tarkemmin kohdassa 5.26 ja vedenalaisen betonoinnin osalta kohdassa 5.24.

6.2 P ä ä t e - j a v ä l i t u e t

6.21 Mitta- ja muototarkkuus

Siltatyön edetessä tulee rakenteiden sijainnin tarkkuuden parantua. Pääte- ja välitukien asemalle ja näiden rakenteiden poikkileikkausmitoille on annettu jo huomattavasti tiukemmat toleranssit kuin peruslaatoille.

Valvojan tulee erityisesti varmistaa, että laakeritason korkeusasema ja muut mitat ovat käytettävän laakerityypin mukaiset. Työn aikana on laakerityyppi saattanut muuttua suunnitelmassa esitetystä.

6.22 Teline- ja muottityöt

Korkeissa ja ahtaissa muoteissa saattaa betonimassan otto muottiin edellyttää jopa pystysuunnassa läpimeneviä betonointiaukkoja, jotka työn edistyessä täytetään etukäteen sovitetuilla muottipaloilla. Kaikki tällaiset aukot on koetettava sijoittaa maanvastaisille pinnoille. Mikäli niitä joudutaan tekemään näkyviin pintoihin, tulee erityistä huomiota kiinnittää siihen, ettei niistä jää sanottavasti ulkonäköä haittaavia jälkiä.

Siipimuurien muotit on tuettava huolellisesti sekä pysty- että vaakasuunnassa ja reunapalkkien oikeaan asemaan (vinous, kaarevuus ja kaltevuus) tulee kiinnittää erityistä huomiota.

6.23 Raudoitustyöt

Työterästen asemaan sekä niiden ja välikkeiden riittävään määrään tulee kiinnittää erityistä huomiota varsinkin suorakaiteen muotoisissa pilareissa. Näissä tulee työteräksiä ja välikkeitä olla nurkkien molemmiin puolin.

6.24 Betonointi kuivatyönä

Korkeissa rakenneosissa tulee betonimassan laskeutuminen ottaa huomioon. Ylimmissä kerroksissa on usein syytä käyttää betonimassassa n. 0,5 metrin alueella 1-2 tunnin hidastusta ja suorittaa jälkitärytys ennen betonoinnin päättämistä.

6.25 Betonipintojen verhous

6.251 Tavallinen kiviverhous

6.252 Sileä kiviverhous

Verhouskivien pintakäsittelyssä ollaan siirtymässä käsintehtävästä pinnan viimeistelystä konesahaukseen. Valvojan on syytä vaatia työmaalle näytekappaleet käytettävästä verhouskivestä ennen työn aloittamista. Siistin lopputuloksen saavuttamiseksi kiviverhous on puhdistettava huolellisesti välittömästi betonoinnin jälkeen.

6.253 Teräslevyverhous

Ruostumattomien teräslevyjen käsittelyssä on tärkeintä, että levyjä käsitellään varovasti puhtain työkaluin ja nostolaittein, joissa ei ole ruostuvista levyistä irronneita ainesosia. Ruostuminen alkaa yleensä naarmusta ja ruostepilkkuja sekä ruostuneita naarmuja on levypinnoista vaikea poistaa. Valvojan on kiinnitettävä huomiota myös siihen, että hitsisaumat peitataan ja huuhdotaan huolellisesti peittauksen jälkeen sekä että levyissä on riittävästi tartuntoja.

Verhoukseen tehtävät aukot on peitettävä huolellisesti, jotta paikkaus ei sanottavasti erotu muusta levypinnasta. Jos betonointi tapahtuu suoraan teräslevyverhouksen muodostamaan muottiin, tulee muotin tuenta olla hyvin huolellisesti tehty, sillä varsinkin isoissa suorissa verhouspinnoissa levyn aaltoilu jää helposti haitallisesti näkyviin.

6.26 Betonipintojen kosteuseristys

Lopullisten maanpintojen ja luiskien korkeusasemat tulee tarkistaa ja merkitä rakenteisiin ennen eristystöiden aloittamista, jotta bitumi-

sivelystä ei jää näkyvään pintaan rumentavia jälkiä. Bitumin poistaminen betonipinnasta on vaikeaa ja työlästä. Bitumina voidaan käyttää puhallettua bitumia B - 95/35.

Kaksinkertaisen bitumisivelyn käyttö on tarpeellista, jos työn aikana todetaan, että maaperä tai pohjavesi ovat syövyttäviä. Vaihtoehtoisesti voidaan betonin säilyvyys varmistaa käyttämällä sulfaatin kestävä sementtiä.

6.3 P ä ä l l y s r a k e n t e e t

6.31 Yleistä

On tärkeätä varmistaa, että kaikki laakerointiin liittyvät osat on asennettu suunnitelmien mukaisesti. Liikkuvat laakerit toimitetaan useimmiten valmiiksi koottuina paketteina, jolloin laakeriennakko on jo asennettu tilauksen perusteella. Valvojan on kuitenkin varmistettava, että ennakko on oikein ja että työmaalla laakeri asennetaan siten, että ennakon suunta tulee myös oikeaksi. Päällysrakenteen muotteja ja niiden tukirakenteita ei saa asentaa siten, ettei laakereiden asennuslevyjä voida irroittaa päällysrakenteen betonoinnin jälkeen.

Ennen päällysrakenteen betonointia on valvojan tarkistettava, että kaikki varusteet ja laitteet mm. syöksytorvet, tippuputket ja tarvittaessa paineentasausputket on asennettu oikeille paikoilleen ja kiinnitetty tukevasti noudattaen SYT 3900:ssa annettuja ohjeita.

6.32 Mitta- ja muototarkkuus

Päällysrakenteen yläpinnan tasaisuutta ja oikeita kallistuksia voidaan parhaiten arvostella toteamalla, jääkö vesi seisomaan lätäköiksi vai valuuko se pois. Tarvittaessa on kuopat ja kolot täytettävä SILKO-ohjeen 2.231 mukaan. Täyttämiseen tulee käyttää epoksibetonia tai juotoslaastia, jonka lujuusominaisuudet ovat selvästi suuremmat kuin varsinaisen päällysrakenteen betonin ja tartuntaominaisuudet hyvät. Suuret alueet, joita ei voida tasoittaa, voidaan varustaa SILKO-ohjeen 2.611 mukaisesti uudella tippuputkella.

6.33 Teline- ja muottityöt

Taipuvia telinekannattajia käytettäessä joudutaan aikaisemmin betonoidulla tukialueella käyttämään betonimassassa hidastinta, jotta kannattajan taipuminen seuraavaa aukkoa betonoitaessa ei aiheuttaisi halkeilua kyseisellä tuella. Hidastuksen tulee olla vähintään seuraavan aukon betonointiajan pituinen.

Jos kotelorakenteiden sisäpuolisissa sivupinnoissa käytetään lauta- tai levymuotteja, on ne purettava. Tämä tulee ottaa betonointisuunnitelmassa huomioon esim. jättämällä kansilaataan tarpeelliset työaukot. Purkutyön yhteydessä on varmistettava hengitysilman riittävyys kotelon sisällä.

Muotit on purettava myös päällysrakenteen ja päätetukien välisistä saumoista. Solumuovi voidaan poistaa liuottimilla.

Varsinkin risteysilloissa, joissa päällysrakenteen alapinnat ovat helposti tarkasteltavissa, tulee kiinnittää huomiota alapinnan muottilaudoituksen oikeaan muotoon ja säännöllisyyteen. Muottilaudoituksen teko tulisi aloittaa päällysrakenteen reunoilta lähtien ja käyttää sovituspaloja keskialueella.

6.34 Raudoitustyöt

Varsinkin palkkirakenteissa tulee kiinnittää huomiota työterästen riittävään määrään. Palkin alapinnassa tulee yleensä käyttää vähintään kahta työterästä ja palkin sivupinnoissa samoin kahta työterästä. Palkin yläpinnan ja kansilaatan yläpinnan raudoituksia ei saa tukea hakojen varaan, vaan tuennassa on käytettävä hitsattuja pukkeja tai paksuja poikittaisia työteräksiä ja niiden alla betonikartioita.

Reunapalkit ovat osoittautuneet kaikkein vaurioherkimmiksi silloissa, joten niissä tulee erityistä huomiota kiinnittää betonipeitteen oikeaan paksuuteen. Korroosiovaarasta johtuen niissä ei suositella käytettäväksi työteräksiä, vaan rauditus tulisi tehdä valmiiksi jäykäksi kehikoksi, joka tuetaan suoraan välikkeiden varaan. Jos työteräksiä käytetään, on ne käsiteltävä SYT:n kohdassa 6.34 esitetyllä tavalla.

6.35 Betonointi

Päällysrakenteen yläpinnan halkeilua voidaan oleellisesti vähentää täryttämällä pintakerros ensin sauvatäryttimillä ja sitten tärypalkilla, jolla samalla saadaan myös rakenteen yläpinnalle oikea muoto.

Hiertoaajankohdan oikealla valinnalla on ratkaiseva vaikutus pinnan laatuun. Hiertoa ei saa aloittaa ennenkuin erottunut vesi on hävinnyt pinnalta ja pinta on himmennyt. Sopiva ajankohta on tavallisesti 1-3 tuntia betonoinnin päättymisestä. Se vaihtelee tosin olosuhteista ja betonimassasta riippuen ja on aina erikseen kokeiltava. Hierto ei saa myöskään olla niin voimakasta, että vesi, sementtiliima ja hienojakoiset osa-aineet erittyvät pintaan heikentäen pinnan lujuutta.

Reunapalkki on mitoiltaan muuhun päällysrakenteeseen verrattuna pieni rakenneosa, joten sen betonoiminen jälkikäteen ei ole suositeltavaa, sillä siitä aiheutuu yleensä kutistumisesta johtuvaa halkeilua. Jos reunapalkki kuitenkin jossakin erikoistapauksessa joudutaan betonoimaan jälkikäteen, on pituussuuntaista raudoitusta lisättävä ja betonimassan vedentarvetta pienennettävä käyttämällä tehonotkistimia tai nesteyttimeä. Reunapalkki on tällöin betonoitava mahdollisimman pian päällysrakenteen betonoinnin jälkeen ja kovettuvaa betonia on lisäksi jälkihoidettava tehokkaasti 1-2 viikon ajan. Varsinkin talviolosuhteissa on jälkityönä betonoidun reunapalkin halkeilua vaikea välttää. Mahdollisesti syntyvät, 0,1 mm suuremmat halkeamat on tiivistettävä epoksilla SILKO-ohjeen 2.236 mukaan.

Mikäli reunapalkin pintoja impregnoidaan, on erityistä huomiota kiinnitettävä ohjeiden tarkkaan noudattamiseen ja työskentelyolosuhteiden tekemiseen ohjeiden mukaisiksi. Mahdollisesti käytettävän jälkihoito-aineen on oltava vesiliukoista.

7. LÄHDELUETTELO

Tie- ja vesirakennushallitus

- SYT 3100-3400: Pohja- ja maarakennustyöt, TVH 732209
- SYT 3500: Paikalla valetut betonirakenteet, TVH 732215
- SYT 3900: Kannen pintarakenteet, varusteet ja laitteet, TVH 732216
- SILKO 2.231: Paikkaus ilman muotteja
- SILKO 2.236: Halkeaman injektointi epoksilla
- SILKO 2.611: Tippuputken teko päällysrakenteeseen

Suomen rakentamismääräyskokoelma (RakMK)

- Betonirakenteet, ohjeet 1981, B4

Rakennustietokortistot (RT)

- SM-20474: Luettelo Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen valvonnassa olevista betoni- ja jänneteräksistä

Standardit (SFS)

- SFS 4474: Betoni, puristuslujuuden testaus

Valtion teknillinen tutkimuskeskus

- Kalliopulttien asennus ja laadunvalvonta,
VTT geotekniikan laboratorio, tiedonanto nro 27

Suomen Betoniyhdistys ry:n julkaisut

- Betonin säilyvyys, by 9
- Betonipinnat, luokitusohjeet, by 13
- Betonin lisäaineet, luokitus ja käyttöohjeet, by 14

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry:n julkaisut

- Tukitelineet, RIL 147

8. KIRJALLISUUSLUETTELO

Suomen Betoniyhdistys ry

- Betonitekniikan oppikirja, 1982, by 201
- 1-luokan betonityönjohtaja, 1981, by 112

Suomen Rakennusinsinöörien Liitto ry

- Betonitekniikka, 1979

JÄNNITTÄMISTÖIDEN SUUNNITELMA -LOMAKKEIDEN KÄYTTÖ

Jännittämistöiden suunnitelmaa laadittaessa ja jännittämistöissä käytetään seuraavia lomakkeita:

- lomake 1: Yleinen osa
- lomake 2: Jännittämispöytäkirja
- lomake 3: Vertailulaskelma jännittämisoiman P_0 jakautumasta
- lomake 4: Jännittämisoiman ja mittalaitteen lukeman välinen riippuvuus
- lomake 5: Injektointipöytäkirja

1. Rakennesuunnitteluvaihe

Suunnittelija täyttää tarvittaessa lomakkeen 1 kohdat 1, 2, 3, 4, 8, 10, 15 ja lomakkeen 2 lasketut arvot. Vastaavat tiedot voidaan merkitä piirustuksiin.

2. Työnsuunnitteluvaihe

Jännittämistöiden tekijä laatii jännittämistöiden suunnitelman. Se tehdään yleensä kahdessa vaiheessa:

- 1. vaihe: Täytetään lomakkeet 1, 2 (lasketut arvot) ja 3.
- 2. vaihe: Täytetään lomake 4 ja hankitaan sen liitteinä esitettävät selvitykset.

3. Työn toteutusvaihe

Jännittämisestä täytetään lomake 2 mitattujen arvojen ja poikkeamien osalta.

Injektoinnista täytetään lomake 5. Sen liitteenä esitetään tarvittavat selvitykset ja koetulokset.

Kohde		Liittyi piirustukseen nro		
1 Jännemenetelmä				
2 Jänteet ja niiden laskenta-arvot	Jännetyyppi 1	Pinta-ala		
		Ap	mm ²	
	Jännetyyppi 2	Pinta-ala		
		Ap	mm ²	
	Jännetyyppi 3	Pinta-ala		
		Ap	mm ²	
	Jännetyyppi 4	Pinta-ala		
		Ap	mm ²	
	Lujuusluokka	Kimmokerroin		
St	Ep	N/mm ²		
Kitakerroin	Aaltoisuusluku			
λ	β	rad/m		
Relaksaatio 1000 h		Lopullinen		
<input type="checkbox"/> Q	%	<input type="checkbox"/> Q	%	
3 Betonin vaadittu lujuus jännittämishetkellä	K _t	MN/m ²		
4 Jännittämisjärjestys	<input type="checkbox"/> Lomakkeen 2 mukaan <input type="checkbox"/> Liitteen nro mukaan			
5 Suurin sallittu jännittämisvoima	Suurin sallittu jännittämisvoima P_{\max} on 1,05-kertainen laskettu voima P_A tai P_B ($P_{\max} = 1,05 P_A$ tai $1,05 P_B$)			
6 Esikivistysvoima	Esikivistysvoimana käytetään			
	<input type="checkbox"/> P	MN	<input type="checkbox"/> 0,1 P_A ankkurilla A, 0,1 P_B ankkurilla B	
	Venymät lasketaan ja mitataan alkaen			
	<input type="checkbox"/> Esikivistysvoimasta	<input type="checkbox"/> Voimasta $P = 0$		
7 Venymiin sisältyvät lisämuodonmuutokset	Lomakkeella 2 annettuihin venymiin A ja B sisältyy			
	MAL	<input checked="" type="checkbox"/>	Ankkurikappaleen ja puristimen välinen venymä	mm
		<input checked="" type="checkbox"/>	Jännittämislaitteiston muodonmuutos	mm
		<input checked="" type="checkbox"/>	Kiinteän ankkurin muodonmuutos	mm
			Jänteen osuus rakenteen kimmoisesta kokoonpuristumasta	mm
			Muu	mm
			mm
			mm
			mm
			mm
			mm
			Σ	mm
Jännittämisankkurin lukitushäviö on mm ja se on otettu huomioon arvoissa ΔA ja ΔB lomakkeessa 2.				

8 Rakenteen kimmoinen kokoonpuristuma	Laskettu jännevoiman aiheuttama rakenteen kimmoinen kokoonpuristuma jänteen suunnassa _____ mm	
9 Puristimet	Lomake 4 liitteineen liitetään suunnitelmaan ennen jännittämistä	
10 Erityiset toimenpiteet jännittämisen aikana (esim. telineiden lasku)		
11 Jännittämispöytäkirjan hyväksyminen	Injektointia, jänteiden päiden katkaisemista tai muita uudelleen jännittämistä estäviä toimenpiteitä ei saa suorittaa ennenkuin jännittämispöytäkirja on hyväksytty.	
12 Injektointilaastin koostumus	Sementti	Vesisementtisuhde
	Runkoaine	
	Lisäaineet	
	Pakkasenkestävyysvaatimus	
	<input type="checkbox"/> On <input type="checkbox"/> Ei	
	Ennakkokokeiden tulokset	
13 Liite	Lomake 2, lasketut arvot	
14 Muut Liitteet		
15 Allekirjoitukset	<input type="checkbox"/> Suunnittelija <input type="checkbox"/> Rakennusliike	Rakennuttaja
	Päivämäärä, suunnittelija	Päivämäärä, tarkastettu
	Päivämäärä, tarkastettu	Päivämäärä, hyväksytty

Kohde

Liittyy piirustukseen nro

Jänne nro (tyyppi)	Jänteen pituus mm	Ankkuri A						Ankkuri B						D = A+B mm	Poikkeama		Huomau- tuksia
		A mm	ΔA1 mm	ΔA2 mm	PA MN	PA1 MN	PA2 MN	B mm	ΔB1 mm	ΔB2 mm	PB MN	PB1 MN	PB2 MN		Venymä %	Voima %	
		*)															
		L															
		M															
		L															
		M															
		L															
		M															
		L															
		M															
		L															
		M															
		L															
		M															
		L															
		M															
		L															
		M															
		L															
		M															
		L															
		M															

*) L = lasketut arvot, M = mitatut arvot

A, B, D = venymä ennen päästöä ja lukitusta alkaen voimasta P =

ΔA1, ΔB1 = lukituksen ja päästön aiheuttama venymän muutos

ΔA2, B2 = uuden jännittämisen ja lukituksen aiheuttama venymän muutos

PA, PB = voima ennen päästöä ja lukitusta

PA1, PB1 = voima päästön ja lukituksen jälkeen

PA2, PB2 = voima uuden jännittämisen ja lukituksen jälkeen

Jännittäminen tehty oheisen pöytäkirjan mukaan

Jännittämistöiden työnjohtaja

Työnvalvoja

I-luokan betonityönjohtaja

Päivämäärä

4 / 8

JÄNNITTÄMISPOYTÄKIRJAN TÄYTTÖOHJEET - LOMAKE 2

1. Jänteet merkitään lomakkeeseen yleensä jännittämisyjärjestyksessä. Jos samaan lomakkeeseen merkitään eri jännetyyppejä sijoitetaan jännetyyppejä koskeva tunnus sulkuihin jänteen nro:n alle.
2. Pituus ilmoitetaan jännettä pitkin mitattuna ankkurikappaleen ulkopinnasta ulkopintaan.
3. Venymien ja jännittämisoimien ilmoittamiseksi on kutakin jännettä kohti kaksi riviä. Toisessa (rivi L) ilmoitetaan laskettu arvo, toisessa (rivi M) ilmoitetaan työmaalla mitattu arvo.
4. Venymien A ja B sekä venymien muutoksien ΔA_1 , ΔA_2 ja ΔB_1 , ΔB_2 merkitys on ilmoitettu lomakkeen alaosassa.
5. Voimien P_A , P_{A1} , P_{A2} ja P_B , P_{B1} , P_{B2} on ilmoitettu lomakkeen alaosassa.
6. Venymä D osoittaa kokonaisvenymän ennen päästöä ja lukitusta.
7. Sarakkeessa "Poikkeama" ilmoitetaan mitattujen arvojen poikkeama laskettuihin nähden.
Poikkeama-prosentin laskenta tehdään venymälle kaavalla $\left[\frac{D_M}{D_L} - 1 \right] 100$
ja voimalle kaavalla $\left[\frac{(P_A + P_B)_M}{(P_A + P_B)_L} - 1 \right] 100$.
Alaindeksi L tarkoittaa laskettuja ja alaindeksi M mitattuja arvoja.
8. Sarakkeessa "Huomautuksia" voidaan merkitä huomautuksen nro, jolloin huomautus esitetään erillisellä liitteellä.
9. Jännittämiseen liittyvät toimenpiteet, kuten esim. telineiden lasku, voidaan esittää lomakkeen vaakarivillä.

JÄNNITTÄMISTÖIDEN SUUNNITELMA

Vertailulaskelma jännevoiman P_0 jakaumasta

Lomake 3

[illegible]

JÄNNITTÄMISTÖIDEN SUUNNITELMA
Jännittämisoiman ja mittalaitteen
lukeman välinen riippuvuus

Kohde

Liittyi piirustukseen nro

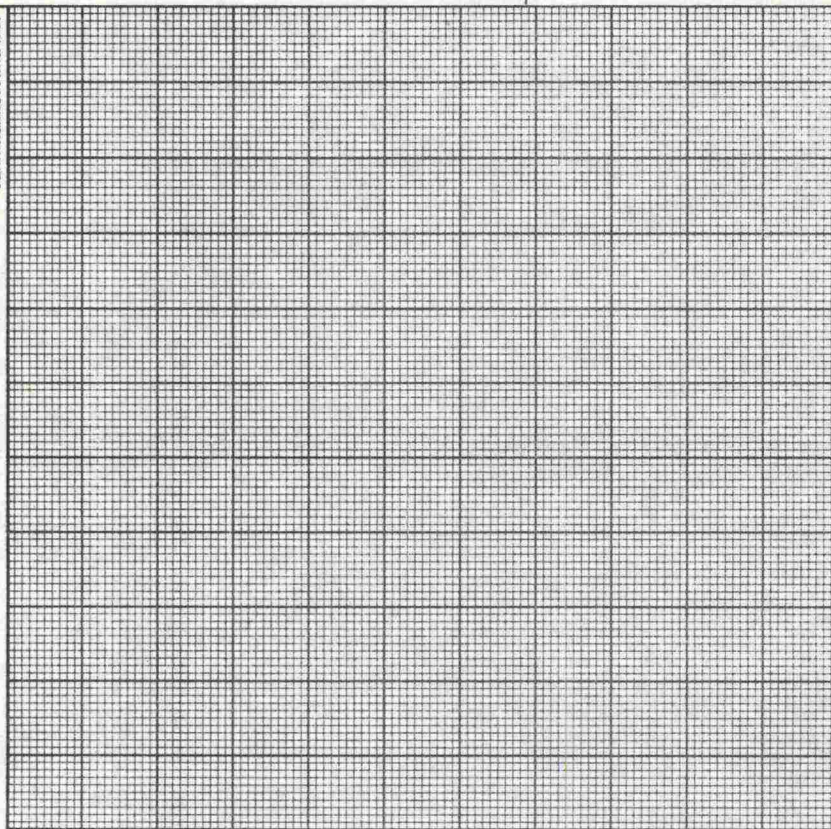
1. PURISTIN

Nro _____

Pumppu

Nro _____

Jännittämisoima MN



Mittalaitteen lukema

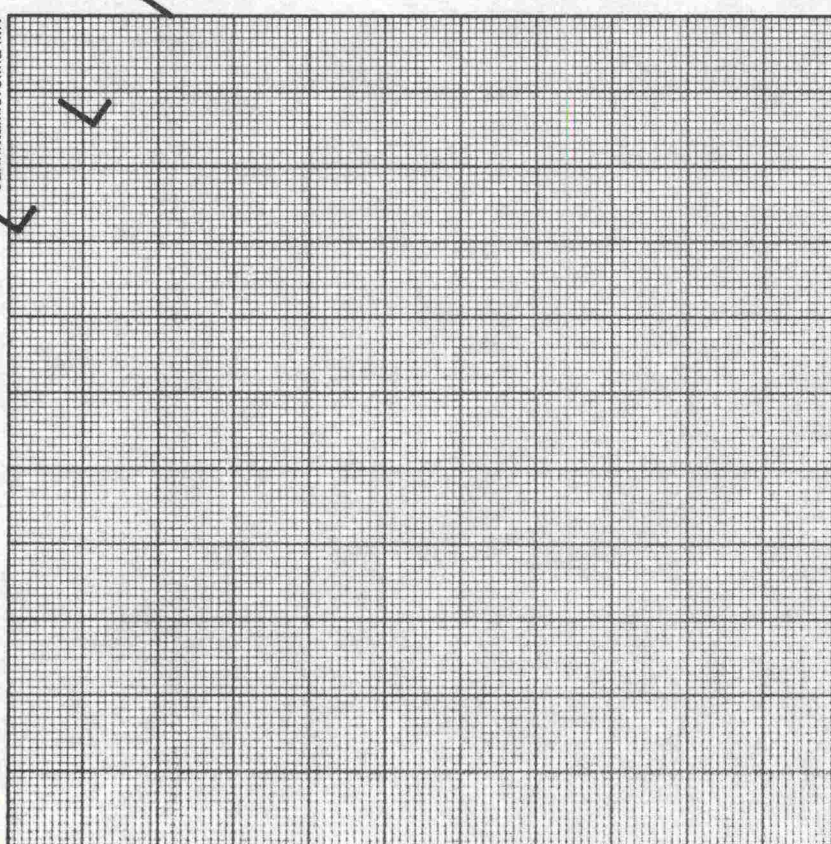
2. PURISTIN

Nro _____

Pumppu

Nro _____

Jännittämisoima MN



Mittalaitteen lukema

Laatimispäivämäärä

Laatijan allekirjoitus

LIITTEET☐ Tarkistettujen mittalaitteiden
koetustodistukset, liite nro _____☐ Kalibrointitau-
lukot, liite nro _____☐ Jänneteräksen ja jänteiden
koetustodistukset, liite nro _____

Kohde								Liittyi piirustukseen nro	
1 Laastin koostumus	Sementti					Lisäaineet			
	Runkoaine					Vesisementtisuhde			
2 Laastikokeiden tulokset työvuorittain		Yksikkö	Pvm	Pvm	Pvm	Pvm	Pvm	Pvm	
	Notkeus								
	Veden erottuminen								
	Tilavuuden muutos								
3 Jännekohtaiset tiedot	Jänne tai janteet	Injektointi- päivä- määrä	Lämpötilat			Laasti- menekki l	Työaika sekoituksesta min.	Työpaine MN/m ²	Huomautuksia
	Rakenne C°	Laasti C°	Ilma C°						
	4 Lämpötilan tarkkailu	<input type="checkbox"/> Rakenteiden lämpötilan tarkkailu injektoinnin jälkeen (tarvittaessa), liite nro							
5 Kelpoisuus- kokeiden tulokset	<input type="checkbox"/> Kelpoisuuskokeiden tulokset (tarvittaessa) <input type="checkbox"/> Puristuslujuus- kokeet, liite nro <input type="checkbox"/> Pakkasenkestävyys- kokeet, liite nro								
6 Allekirjoi- tukset	Injektointi suoritettu oheisen pöytäkirjan mukaan								
	Injektointitöiden johtaja					Työnvalvoja			
	I-luokan betonityönjohtaja					Päiväys			

